

В. Г. КОРОЛЬКОВ
Л. Г. ЛИШИН

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ МАГНИТОФОНОВ

«ЭНЕРГИЯ»

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 655

В. Г. КОРОЛЬКОВ, Л. Г. ЛИШИН

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ МАГНИТОФОНОВ



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1967

6Ф2.7
К 68

УДК 681.84

Корольков В. Г., Лишин Л. Г.

К 68 Электрические схемы магнитофонов. Изд. 2-е. М., «Энергия», 1967.
120 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 655).

Рассматриваются электрические схемы усилителей и генераторов на лампах и транзисторах, применяемых в магнитофонах. Приведена классификация этих схем и даны некоторые способы расчета их элементов. Рассчитана на читателей, знакомых с физическими основами магнитной звукозаписи и занимающихся конструированием или эксплуатацией магнитофонов.

6Ф2.7

3-4-5
325-67

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Основная цель предлагаемой книги заключается в том, чтобы помочь читателям разобраться в схемах современных магнитофонов, понять принципы их действия и получить представление о расчете.

В книге показывается, что схемы магнитофонов при всем их многообразии можно разделить на ряд схем функциональных блоков. Каждому из них посвящена отдельная глава. Такой подход облегчит читателю разбор встретившихся на практике схем магнитофонов, так как в них он найдет уже знакомые по данной книге блоки.

Конкретные данные электрических величин в приводимых схемах, как правило, не указаны, так как они могут быть весьма различны и выбираются конструктором на основании расчета или опыта в зависимости от требований, предъявляемых к магнитофону, типа электронных или полупроводниковых приборов, способа электропитания и других заданных условий.

Со времени первого издания прошло более шести лет. Поэтому при подготовке второго издания оказалось необходимым несколько изменить содержание книги. Введены новые разделы, посвященные применению транзисторов в магнитофонах. Эти разделы написаны Л. Г. Лишиным. Технические нормы и требования приведены в соответствие с новыми Государственными стандартами. Термины изменены в соответствии с терминологией, разработанной ВНИИРТ. Кроме того, в отдельных местах текст исправлен или уточнен.

Авторы будут весьма признательны всем, кто пожелает высказать какие-либо замечания или рекомендации, относящиеся к данной книге.

В. Г. Корольков,
Л. Г. Лишин

Глава первая

БЛОК-СХЕМЫ МАГНИТОФОНОВ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Блок-схемой называется условное изображение электрических узлов какого-либо устройства и соединений между ними. По сравнению с принципиальной схемой блок-схема более наглядно показывает составные части устройства, функциональную связь между ними и основную коммутацию. Эта наглядность достигается тем, что в блок-схемах изображают лишь главнейшие части и используют упрощенную систему обозначений: узлы изображают прямоугольниками и кружками с соответствующими значками, а соединения между ними дают обычно в однопроводном изображении.

Ознакомление с тем или иным магнитофоном целесообразно начинать с разбора его блок-схемы. При разработке нового аппарата тоже начинают с выбора и составления блок-схемы. Потом переходят к составлению принципиальной схемы и ее экспериментальной проверке для уточнения данных отдельных деталей. Когда принципиальная схема отработана, разрабатывают конструкцию и составляют монтажную схему магнитофона. Поэтому мы также начнем рассмотрение электрических схем магнитофона с блок-схем. Как правило, эти схемы не показывают электропитания отдельных узлов и вспомогательных электрических цепей (например, сигнализации). В необходимых случаях блок-схема электропитания дается отдельно.

Блок-схемы магнитофонов весьма разнообразны. Это объясняется различным назначением магнитофонов и различными требованиями, предъявляемыми к ним. Главные особенности магнитофонов существенные с точки зрения построения их блок-схем, следующие:

1. Чувствительный (например, для работы от микрофона) или малочувствительный (например, для работы от радиоприемника) вход магнитофона.

2. Раздельные усилители записи и воспроизведения или общий универсальный усилитель или пассивный четырехполюсник для частотных предыскажений при записи и усилитель воспроизведения, или другая комбинация этих узлов.

3. Количество и тип магнитных головок.

4. Наличие или отсутствие мощного выхода, достаточного для прослушивания на собственный громкоговоритель.

5. Наличие или отсутствие «стирания» во время записи, а также генератора высокой частоты, собранного на отдельной лампе или в комбинации с одной из ламп усилителя.

Кроме перечисленных, имеется еще ряд особенностей, влияющих на блок-схему: наличие регулятора тембра, искусственной реверберации при записи, возможность осуществлять так называемые «трюковые» записи, способ переключения магнитофона с воспроизведения на запись, способ выбора того или иного источника входного сигнала и ряд других.

Для лучшего ознакомления с различными блок-схемами разберем главнейшие из них, применяемые в настоящее время. Конечно, не обязательно каждый новый магнитофон разрабатывать по одной из таких схем. Блок-схема является также объектом творчества конструктора и должна составляться им в соответствии с назначением магнитофонов. Разбирая типовые схемы, мы хотим лишь помочь конструктору в освоении технико-логических принципов, положенных в основу любой блок-схемы.

2. БЛОК-СХЕМЫ

На рис. 1 показана блок-схема, по которой строятся стационарные магнитофоны профессионального назначения, используемые в аппаратных киностудий и радиовещания. Входной сигнал через разрывное гнездо $Г_1$ поступает на усилитель записи *УЗ*, выход которого нагружен на головку записи *ГЗ*. Генератор высокой частоты *ГВЧ* (часто объединяемый по схеме и конструктивно с усилителем записи) питает током высокой частоты головки стирания *ГС* и записи *ГЗ*. Сигнал, воспроизводимый с ленты воспроизводящей головкой *ГВ*, усиливается усилителем воспроизведения *УВ* и поступает через переключатель $П_1$ на выход магнитофона.

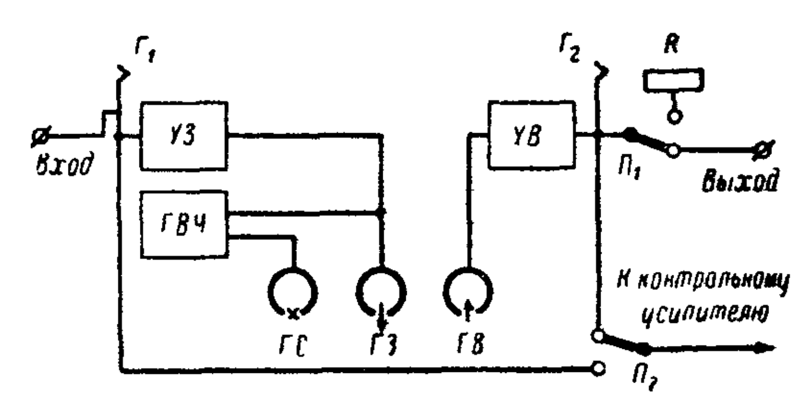


Рис. 1. Блок-схема стационарного магнитофона.

Для этой схемы характерно наличие раздельных усилителей записи и воспроизведения, которые при записи работают одновременно и образуют так называемый «сквозной канал». При всех остальных рабочих режимах магнитофона усилитель записи и генератор высокой частоты выключаются посредством отключения питающего напряжения (например, анодного напряжения в ламповом магнитофоне).

Благодаря сквозному каналу можно в процессе записи контролировать качество фонограммы, воспроизводя запись с незначительным запозданием, определяемым временем прохода ленты от записывающей до воспроизводящей головки. Такой контроль позволяет своевременно заменить возможные недостатки в записи и быстро принять меры, чтобы они не повторялись, или в крайнем случае прервать и повторить запись. Только контроль в сквозном канале служит действительной гарантией хорошей записи и особенно тех ее сторон, которые определяются движением ленты и ее качеством. Особенно важно иметь такой контроль в устройствах профессиональной звукозаписи.

Переключатель $П_2$ позволяет вести контроль записи путем сопоставления звучания на входе и выходе магнитофона, или, как говорят, до и после ленты. При помощи этого переключателя контрольный усилитель с громкоговорителем (не входящие в состав магнитофона) могут подсоединяться к входу или выходу магнитофона. Сопоставительный контроль — самый жесткий контроль качества звучания. Часто последующее прослушивание не позволяет обнаружить те дефекты, которые, однако, слышны при сопоставительном контроле, когда практически без паузы сравниваются оригинал и запись. Для облегчения контроля переключатель $П_2$ должен переключаться легко и быстро.

Сопоставительный контроль наиболее точен, когда сравниваются сигналы одинакового уровня. Поэтому наилучшим режимом работы для магнитофонов, собранных по данной блок-схеме, является тот, при котором на вход подается напряжение, равное выходному. Такой режим устанавливают при помощи регуляторов усиления в каждом из усилителей. Эти же регуляторы позволяют компенсировать неизбежный разброс и изменение во времени качественных показателей магнитных головок, электронных ламп или транзисторов и различие чувствительности магнитных лент, применяемых для записи.

Так как магнитофоны подобного типа рассчитаны на использование в комплекте с другим оборудованием аппаратной звукозаписи, они имеют лишь так называемый «линейный вход», т. е. их чувствительность по входу составляет обычно 1,5—6 *в* и не рассчитана на непосредственное подключение микрофона. Объясняется это тем, что в профессиональных условиях запись проводится чаще всего с нескольких микрофонов. Усиливают и смешивают токи отдельных микрофонов в специальном устройстве (микшерном усилителе), к выходу которого подключаются все магнитофоны в аппаратной.

Магнитофон по блок-схеме, приведенной на рис. 1, не имеет мощного выхода. Выходная мощность усилителя воспроизведения обычно не превышает 0,1 *вт*, а выход рассчитан на подключение нагрузки с сопротивлением от 200 до 600 *ом*. Поэтому для громкоговорящего контроля звучания необходим внешний контрольный усилитель с громкоговорителем. Эта «неполноценность» блок-схемы вполне оправдана для условий работы профессиональной аппаратной звукозаписи. В такой аппаратной для непрерывной работы используют не меньше двух магнитофонов, а по соображениям резервирования число их часто доходит до четырех. Прослушивание же ведется одновременно только с одного магнитофона. Поэтому неэкономно и нецелесообразно иметь в составе каждого магнитофона свой мощный усилитель и тем более громкоговоритель. Для получения высококачественного звучания последний должен быть вынесен из магнитофона и расположен в специальном (по акустике) фут-

ляре. Обычно в одном футляре с громкоговорителем располагают и мощный усилитель, называя их вместе контрольным агрегатом.

Выходной уровень магнитофона, как указывалось ранее, целесообразно выбирать таким же, как и входной, т. е. в пределах 1,5—6 *в* (максимальное действующее значение). Выбор меньшего уровня приводит к чрезмерному усложнению индикатора уровня и контрольного усилителя (последний придется делать с большим усилением). Это обстоятельство при совмещении усилителя с громкоговорителем в одном контрольном агрегате может быть причиной акустического самовозбуждения. Кроме того, при малом выходном уровне усложняется экранировка линий, так как действие различных помех становится относительно сильнее. Нецелесообразно выбирать выходной уровень и выше указанных пределов, так как это усложняет усилитель воспроизведения или повышает в нем нелинейные искажения.

Блок-схема, приведенная на рис. 1, не содержит индикатора уровня. Это объясняется тем, что источником сигналов низкой частоты для данного магнитофона служит микшерный усилитель, в котором сосредоточены как органы регулировки, так и органы контроля уровня. Поэтому отдельного индикатора уровня в самом магнитофоне не требуется. Иногда вместо него в магнитофоне имеется вольтметр (с полупроводниковым выпрямителем), который служит для настройки аппарата перед началом работы. Такой вольтметр по схеме подключается параллельно выходу на контрольный усилитель и при помощи переключателя $П_2$ может подсоединяться для измерения как входного, так и выходного напряжений.

В заключение разбора этой блок-схемы остановимся на ее вспомогательных деталях. Переключатель $П_1$ позволяет подключать выход усилителя воспроизведения или к выходной линии магнитофона, соединяющей его с нагрузкой, или к резистору *R*, эквивалентному по сопротивлению нормальной нагрузке. При помощи этого переключателя можно отсоединить магнитофон от общей схемы аппаратной по выходу, а включением штепселя в разрывное гнездо $Г_1$ — и по входу. Необходимость в такой автономии магнитофона встречается, например, при контрольных измерениях (когда в гнездо $Г_1$ подключают звуковой генератор, а в гнездо $Г_2$ измерительную аппаратуру и когда нежелательно, чтобы сигналы измерений поступали в остальную схему аппаратной), а также при перезаписи, которая может производиться с одного магнитофона на другой, минуя аппаратную. В последнем случае коммутационным шнуром соединяют ганездо $Г_1$ одного магнитофона с гнездом $Г_2$ второго, а переключатель $П_1$ на обоих магнитофонах ставят в положение «эквивалеит» (выход усилителя подключают к резистору *R*).

Переключатель $П_1$ используется, кроме того, при воспроизведении для подключения магнитофона к потребителю в желательные моменты времени и, наоборот, для отключения магнитофона в нежелательные моменты (например, во время перемотки ленты).

Перейдем теперь к разбору второй блок-схемы, показанной на рис. 2. Она используется также в магнитофонах профессионального назначения, но не стационарных, а переносных или передвижных. К числу их относятся переносные репортажные магнитофоны, магнитофоны, смонтированные в автомашинах, используемые в экспедициях и т. п.

В отличие от стационарных эти магнитофоиы работают без какой-либо дополнительной аппаратуры и в их составе должны быть

все элементы для записи и воспроизведеиия (от микрофона до контрольного громкоговорителя). Запись может производиться с нескольких микрофонов (от двух до четырех). Каждый микрофон *М* подключен к отдельному микрофонному усилителю *МУ* с регулируемым усилением. В простейшем случае микрофонный усилитель может быть выполнен в виде одного каскада усиления. Выходы микрофонных усилителей соединены вместе и поступают на общий регулятор усиления *РУ*. Если магнитофон имеет только два микрофонных входа, то общий регулятор не нужен. В некоторых случаях, кроме микрофонных, предусматривают один или два линейных входа, к которым подключают источники с большей э. д. с., например

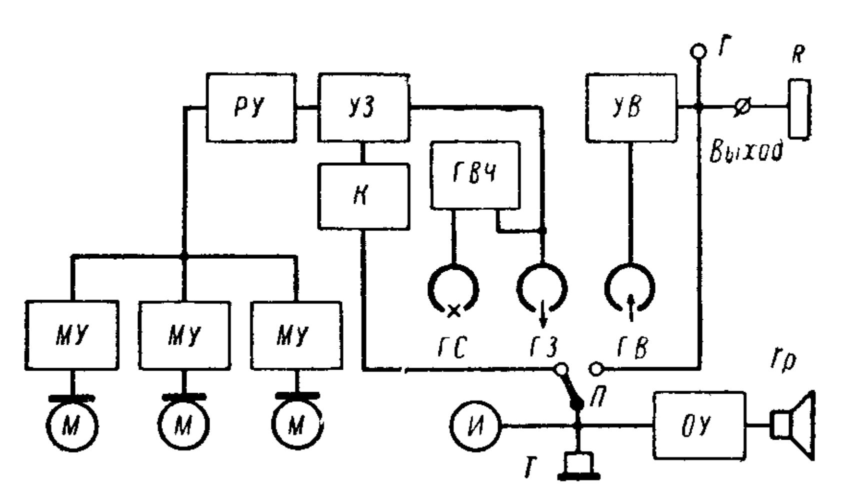


Рис. 2. Блок-схема переносиых и передвижных магнитофонов профессиональиого применения.

трансляционную линию, выход другого магнитофона, радиоприемник и т. п. Лннейный вход через индивидуальный регулятор усиления подключают к входу общего регулятора усиления.

После общего регулятора сигнал поступает в усилитель записи *УЗ*, выход которого нагружен на записывающую головку *ГЗ*. Генератор высокой частоты *ГВЧ* включен как и в предыдущей блок-схеме. Во всех режимах работы магнитофона, кроме записи, *ГВЧ* и оконечный каскад *УЗ* выключаются путем снятия с них питающего напряжения.

Воспроизводимый сигнал усиливается усилителем воспроизведения *УВ*, выход которого подключен к внешним выходным зажимам и контрольному гнезду *Г*. Отсюда напряжение может подаваться иа нагрузку (например, при перезаписи на вход другого магнитофона). При измерениях в гнездо *Г* включают измерительную аппаратуру. Когда нагрузки нет, выходные зажимы замкнуты на эквивалентный по сопротивлению резистор *R*.

Как и в схеме на рис. 1, здесь благодаря имеющимся раздельным усилителям записи и воспроизведения образуется сквозной канал. Сопоставительный контроль ведется при помощи переключателя *П*, подсоединяющего оконечный усилитель *ОУ* и громкоговоритель *Гр*, входящие в состав магнитофона, то к выходу усилителя воспроизведения, то к промежуточному выходу усилителя записи. Одновременно переключается и индикатор уровня *И*. Вывод для контроля от усилителя записи должен идти от такой точки его схемы, где напряжение равно или достаточно близко к напряжению на

выходе усилителя воспроизведения. Если эта точка находится после того каскада усилнтеля, где осуществлены необходимые при записи частотные предыскажения, то для устранения различия в звучаниях сигналов, сравниваемых при сопоставительном контроле, необходимо ввести корректор *К*, исправляющий сигнал.

Такой корректор представляет собой обычно простой *RC* фильтр, частотная характеристика затухаиия которого совпадает с частотной характеристикой усилителя записи. В последнем желательно иметь устаиовочный регулятор усиления, расположенный после той точки схемы, откуда берется напряжение для сопоставительного контроля. Этим регулятором можно компенсировать разброс качественных показателей лент н головок, не нарушая равенства сравнпваемых при контроле напряженнй.

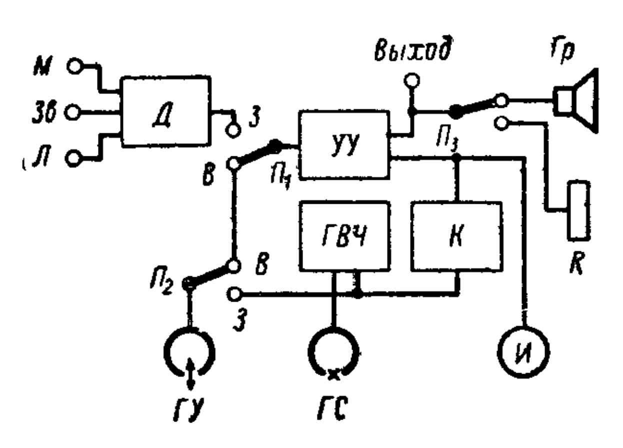


Рис 3. Первая блок-схема бытового магнитофона
В — воспроизведение; *З* — запись.

Переключатель *П* позволяет звукооператору до начала записи, а также во время репетиций слушать через громкоговорнтель все происходящее вблизи микрофонов, которые часто удалены на большое расстоянне и даже находятся вне пределов видимости. Благодаря слуховому контролю оператор получает возможность быть в этом случае в курсе событий, а также судить по звучанию и показаииям индикатора уровня о правильности расстаиовки микрофонов. Как только запись начинается, звукооператор переключает оконечный усилитель и индикатор уровня на выход усилителя воспроизведения и так ведет контроль в процессе всей записи, прибегая лишь к кратковременным сопоставлениям звучания до и после ленты при помощи переключателя *П*. Громкость прослушивания можно регулнровать, изменяя усилеине только в оконечном усилителе. Изменение усилеиия в усилителе воспроизведения для этого недопустимо, так как нарушает калибровку индикатора уровня, производимую предварительно перед записью по измерительной ленте.

Если микрофоны расположены недалеко от магнитофона, то громкоговорящнм контролем пользоваться не удается, так как из-за акустической обратной связи возможно самовозбуждение. В этом случае контроль ведут на головные телефоны *Тл*, включаемые на вход оконечного усилнтеля.

Рассмотрим блок-схему, прнведенную иа рис. 3. По этой схеме сделано большинство магнитофонов домашнего пользования и часть диктофонов. Она проще ранее приведенных, так как в ней вместо раздельных усилнтелей записи н воспроизведения прнменен один универсальный усилитель *УУ*.

Источники низкой частоты — микрофон *М*, звукосниматель *Зв* и линию *Л* (трансляциоиную или с выхода радиоприемннка) подключают в соответствующие гнезда схемы. Благодаря делителю *Д* напряжения, создаваемые этимн тремя источникамн, приводятся к одному уровию (обычно к уровню микрофона) и поступают при записи через переключатель $П_1$ на вход усилнтеля. Последний имеет два выхода: один, рассчитаиный иа подключение громкоговорителя *Гр*, а другой — с большим выходным напряжением для подключения магннтной головки. В режиме записи ко второму выходу через предысказитель (корректор) *К* и переключатель $П_2$ подсоедлняется универсальная головка *ГУ*. Предысказитель *К* представляет собой пассивный четырехполюсник, обеспечивающий необходимый подъем частотной характеристики на высоких частотах. Одновременно при записи включается питание генератора высокой частоты *ГВЧ* для получения токов стирания и подмагничивания.

Если запись ведут со звукоснимателя или линии, то качество звучания можно контролировать по громкоговорнтелю, подключаемому переключателем $П_3$ к выходу усилителя. Конечно, это не контроль в сквозном канале и никакого представления о фонограмме такой контроль не дает, но все же он позволяет судить о качестве и характере звучання, соответствующего сигналу, вырабатываемому входным источником. Прн записи с мнкрофона (обычно расположенного недалеко от такого магнитофона) громкоговорнтель приходится выключать. Переключатель $П_3$ подключает прн этом к выходу усилителя резистор *R*, служащий эквивалентом иагрузки. Контроль звучания в этом случае можно вести на телефоиные трубки, включаемые в гнездо «Выход». Это же гнездо используют для подачи напряжения низкой частоты куда-либо вне магнитофона, например на вход мощного усилнтеля траисляционного узла, на гнездо для звукоснимателя в радиоприемнике, для подключения дополнительиого громкоговорителя и, наконец, для подсоединения измерительной аппаратуры при нспытаннях.

В некоторых магнитофонах переключатель $П_3$ связывают с включением мнкрофона так, что при этом громкоговоритель автоматически выключается. В остальных случаях по желанию оператора переключателем можно включать илн выключать громкоговорнтель.

Уровень записи контролируют прн помощи индикатора *И*, откалиброванного так, что прн его максимальном показанни н магннтной ленте средиего качества (типовой) получается максимально допустимая намагниченность.

В режимах остановкн и ускореииых перемоток ленты схема магнитофона остается в состояннн коммутации, соответствующем предыдущему рабочему режиму. Однако при этом генератор высокой частоты автоматически выключается, а лента отводится от универсальной головки, что гарантирует от стираиня записи во время перемотки ленты.

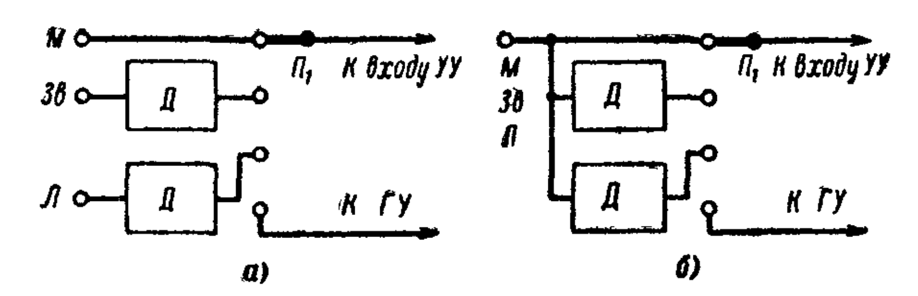
Если при записи частотная характеристика усилителя отиосительно прямолинейна и горизоитальна, то прн воспроизведении ее форма должна соответствовать приведенной далее на рис. 25. Достигается это изменением схемы усилнтеля прн переходе с записн на воспроизведенне.

Следует отметнть, что и при записи необходнмые частотные предыскажения могут быть осуществлены в самом усилнтеле, а не в отдельном корректоре *К*, надобность в котором тогда отпадает. Однако этот вариант менее желателен, так как прн ием громкоговорящий контроль во время записи непрнятен иа слух нз-за действия предыскаженнй в усилителе (звучанне становится резкнм, с обилием свистящих и шипящих звуков).

Регулятор усиления в усилителе служнт при записи регулятором ее уровня, а при воспроизведении — регулятором громкости.

Обычно в схеме усилителя имеется регулятор тембра, используемый при воспроизведении для подбора приятного на слух звучания. При записи регулятор тембра выключается. Индикатор уровня прн воспроизведении тоже может отключаться. Все указанные изменения в схеме усилителя происходят автоматически при переходе с записи на воспроизведение.

Остановимся на некоторых вариантах этой же блок-схемы. Входная часть схемы, показанной на рис. 3, имеет тот недостаток, что допускает неправильное смешение сигналов, поступающих от



Рнс. 4. Блок-схемы входа.

всех трех источиков низкой частоты; например, если в гнездо *Л* подключить трансляционную линию, то запись с микрофона и звукоснимателя будет происходить в сопровожденин трансляционных передач. Это неудобство может быть устранено, если входную часть построить по схеме, приведенной иа рис. 4, *а*. В ней переключатель $П_1$ усложиен и позволяет не только переключать усилитель с воспроизведения на запись, но и выбирать тот или иной источник низкой частоты. В такой схеме все источники подсоединены к магнитофону без возникновения взаимных помех при записи. В первом положении переключателя (запись с микрофона) иетрудио получить автоматическое отсоединение громкоговорителя, разместив на общей оси с переключателем $П_1$ второй переключатель, включенный последовательио с переключателем $П_3$ (см. рис. 3).

Недостаток входных схем, показанных на рис. 3 и 4,*а*, заключается в излишней сложности, так как для них необходнмо иметь три входных гнезда. На рис. 4, *б* показана более простая схема с одним входным гнездом, в которое включают по желанию либо микрофон, либо звукосниматель, либо линию. Однако в эксплуатацин эта схема менее удобна, так как в ней для перехода от одного источника низкой частоты к другому требуется каждый раз отключать от гнезда ненужный и подключать требуемый источник.

Блок-схема, показанная на рнс. 3, может несколько видоизменяться, если количество магнитных головок будет больше двух. Иногда по соображениям, нзлагаемым далее, выгодно вместо одной универсальной применять раздельные головки записи и воспроизведения, тогда схема принимает вид, показанный иа рис. 5. В ией записывающая головка *ГЗ* подключается вместе с включением генератора высокой частоты *ГВЧ* при нажатии кнопки «Запись» иа лентопротяжном механизме.

Некоторое применение в магнитофонах для домашнего пользования находят универсальные магнитные головки с отводом от обмоток. Вся обмотка такой головки включается при воспроизведении, а ее меньшая часть — прн записн. Для включения универсальной головки с отводом применяют ту же схему, что и на рис. 5. с той лишь разницей, что провод *а* соответствует концу, а провод *б* — отводу от обмотки головки, начало которой соединено с точкой нулевого потенциала.

Количество головок в магнитофоне удваивается, когда при однодорожечной записи хотят получить двухдорожечную фонограмму, не прибегая к переворачиванию и перекладыванию катушек с лентой, а лишь изменяя направление рабочего хода ленты. В этом случае приходится устанавливать по комплекту головок для нижней и верхней дорожек. Переход в схеме с головок одного комплекта на головки другого комплекта осуществляется обычно при помощи реле одновременно с реверсированием электродвигателя и управляется отдельным переключателем «первая дорожка — вторая дорожка» на лентопротяжном механизме. Схема такой коммутации не приводится ввиду ее простоты.

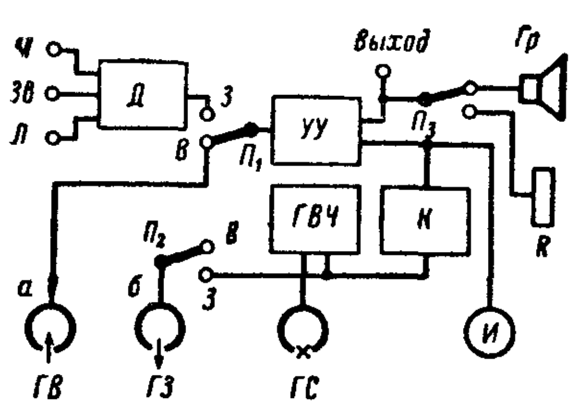


Рис. 5 Вторая блок-схема бытового магнитофона.

Переходим к блок-схеме, показанной на рис. 6. Эту схему можно рекомендовать для бытовых магнитофонов более дорогих, чем

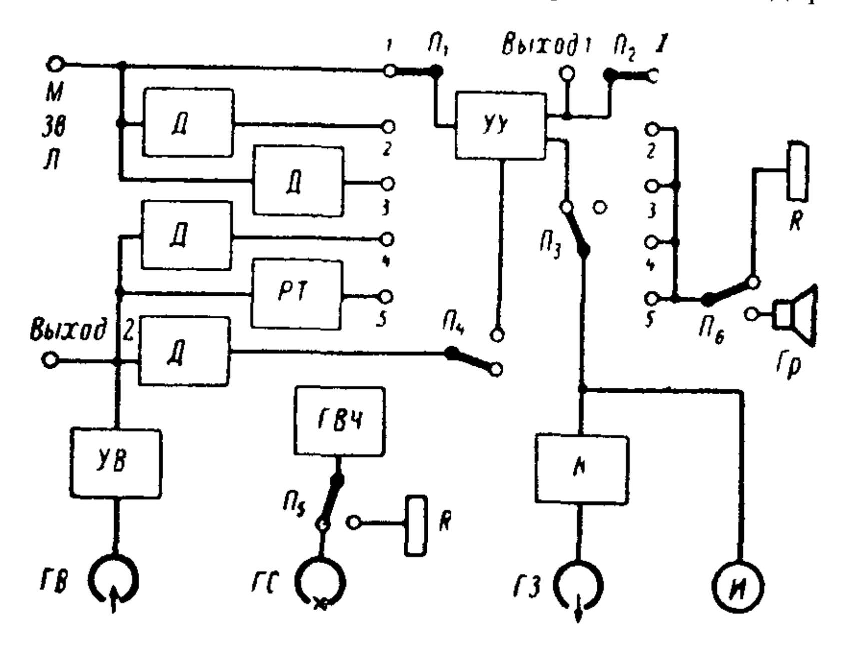


Рис. 6. Третья блок-схема бытового магнитофона.

те, которые собираются по схеме на рис. 3. Она более сложна, в ней больше деталей, но зато и больше эксплуатационных возможностей. Для такой схемы характерно наличие трех магнитных головок и двух усилителей: усилителя воспроизведения *УВ*, имеющего обычно ие более двух каскадов, и универсального усилителя *УУ*. Благодаря отдельному усилителю воспроизведения, в котором происходит вся частотная коррекция сигналов, воспроизводимых с ленты, и преды-

сказителю *К*, осуществляющему частотные предыскажения, необходимые при записи, унмверсальиый усилитель нмеет иеизменную частотную характеристику, практическн прямолннейную и горизонтальную как при записи, так и при воспронзведении. Нткакой регулировки в этом усилителе при переходе с записи на воспроизведение не требуется. Это обстоятельство, да еще раздельные головки записи и воспроизведения намного упрощают коммутацию.

Переключатель рода работ $П_1$ имеет пять положеиий. Положения *1, 2* и *3* соответствуют записи с микрофоиа, звукоснимателя и лиинии подобио тому, как это было рассмотрено в схеме на рис. 4, *б*. Напряженне от источинка низкой частоты, включенного во входное гнездо, попадает на универсальный уснлитель и с его выхода (с большим напряженнем) через переключатель $П_3$ и предысказитель *К* поступает на записывающую головку *ГЗ* и к индикатору уровня *И*. Переключатель $П_3$ замыкается при нажатии на лентопротяжиом механизме кнопки «Запись». При этом включается также анодное напряжение на геиератор высокой частоты *ГВЧ*.

Во время записн можно при желаннн вестн слуховой контроль, включив переключателем $П_6$ громкоговоритель *Гр*, за исключеинем случая записи с микрофона, когда для предотвращения акустической обратной связи цепь громкоговорнтеля автоматически разрывается переключателем $П_2$, расположенным на одной оси с переключателем $П_1$.

Воспроизведение возможно в двух положениях (*4* и *5*) переключателя рода работ. В положении *4* выход усилителя воспроизведения *УВ* через делитель *Д* подсоедняется к входу уииверсального усилителя *УУ*, а в положении *5* вместо делителя включается регулятор тембра *РТ*. Делитель уравнивает усиление схемы на средннх частотах с включенным и выключенным регулятором тембра. Такое двухпознционное воспронзведение имеет свои преимущества. Прн воспроизведении через громкоговоритель магннтофона целесообразно включать регулятор тембра, т. е. ставнть переключатель в положение *5*. Регулятор тембра не только позволяет подобрать желательное звучание, но и дает возможность частнчно компенсировать дефекты акустики ящика магнитофона н дефекты громкоговорителя.

Но бывают случаи, когда воспроизведеиие производится через внешнюю высококачественную электроакустическую систему, например хороший радиоприемннк, имеющий свой регулятор тембра, или широкополосный громкоговорящий агрегат. Тогда регулятор тембра магиитофона не нужен, и воспроизведение целесообразно вести в положении *4* переключателя $П_1$. Возможность выключения регулятора тембра удобна и при проведении испытаний магннтофона, когда нначе трудно узнать, в каком положении регулятора следует получать равномерную частотиую характеристику воспронзведения.

Схема содержит два выходных гнезда. Гнездо *Выход 1* используется для подключения внешнего громкоговорителя, виешнего усилителя, контрольных телефонов н измерительной аппаратуры, а гнездо *Выход 2* служит во время записи выходом сквозного канала. Однако напряженне в этом гнезде мало, н слуховой контроль по воспроизведению с ленты можно вести только с применеинем дополнительиого усилнтеля, например от радиопрнемннка. В последнем случае гнездо *Выход 2* соединяют с гнездами радиоприемника для подключения звукоснимателя. Гнездо *Выход 2* удобно во время измерений, при снятии частотной характеристикн сквозного канала, выборе подмагничивания, установке правнльного положения записывающей и стирающей головок, так как позволяет сразу, а не при последующем воспроизведеинн оценнвать получаемый результат.

Сквозной канал позволяет создавать искусственную реверберацию (эхо). Если во время запнсн замкнуть переключатель $П_4$, то напряжение с выхода усилителя воспроизведення через делитель попадает в канал записи, создавая имитацию серии отраженных от стен помещення звуков. Делителем, включенным последовательио с переключателем $П_4$, можно регулнровать скорость затухания искусственных эхо-сигналов н создавать впечатление записей в различных по объему помещениях.

Для того чтобы эхо-сигналы нмелн на слух непрерывное звучание, а не представляли серию раздельно слышнмых затухающих повторений, необходимо, чтобы они следовали друг за другом не более чем через 0,1 *сек*. Так как в данной схеме это время определяется пробегом ленты между записывающей и воспроизводящей головками, необходимо их, по возможности, сближать (для чего применяют малогабаритные головки), а скорость ленты выбирать не менее 19 *см/сек*. Получение искусственной реверберации позволяет делать запнси более интересными по звучанию. Это особенно относится к музыкальным записям. Реверберацию можно включать временами, например, выделяя этим солиста от аккомпанемента.

В схеме нмеется еще одна возможность получения искусственных записей, для этой цели служит переключатель $П_5$ (кнопка «трюк»). Он позволяет во время записи отсоединить головку стирания *ГС*. При этом старая запнсь, бывшая на ленте, стирается лишь частично благодаря действию поля подмагничивания записывающей головки, а новая запись получается на фоне ослабленной старой. Такая трюковая запнсь полезна при создании комбинированных звуковых монтажей, при записи рассказа на фоне музыки (например, пояснения к любнтельскому кинофильму) н в других подобных случаях.

Чтобы не изменять сильно режим работы генератора высокой частоты при отключении головкн стирания, к нему подсоединяется эквивалентный по сопротивлению резистор, функцию которого часто выполняет миннатюриая лампочка. Свечение ее служит одновременно сигналом включения трюковой записи.

Как уже упоминалось, блок-схему, приведеиную на рис. 6, применяют в более дорогих моделях бытовых магнитофонов. Рассмотрим еще некоторые варианты ее усложнения, повышающие эксплуатационные возможностя аппарата и поэтому вполне допустимые для магнитофонов данной группы. Входная часть блок-схемы может быть выполнена так, как это показано на рис. 7. В отличие от схемы, показанной иа рис. 6, все возможные источннкн низкой частоты могут быть здесь заранее постоянно включены в соответствующие входные гнезда (*М*, *Зв* и *Л*). Уровень сигналов каждого из источнников регулируется раздельно, и, смешиваясь, они поступают на уннверсальный усилитель. Это позволяет плавно переходить в записи с одного источника на другой, делать записи с «наложением» и т. п. Переключатель $П_2$ схемы на рис. 6 в данном случае отсутствует. Вместо него предусмотрен разрывной контакт, отключающий громкоговорнтель, когда в гнездо *М* включают микрофон. Управлять разрывным контактом надо дистанциоино при помощи какой-либо тягн или другого привода, так как выходные цепн усилителя нельзя приближать к микрофонному входу. При переходе на воспроизведенне разрывной контакт блокнруется.

При входной части, собранной по блок-схеме на рис. 7, искусственная реверберация может плавно регулироваться. Для этого коммутационным шнуром гнездо выхода *УВ* соединяют с одиим из свободных входных гнезд аппарата, и регулятором уровня, соответствующим данному входу, можно в желательных пределах изменять время реверберации. Судить о величине реверберации можно, как и при схеме на рис. 6, в процессе самой записи (на слух, через громкоговоритель).

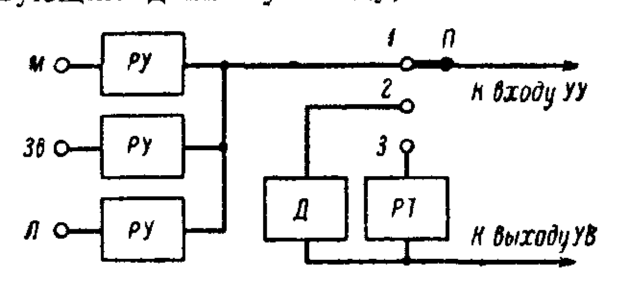


Рис. 7. Блок-схема со смешеиием сигналов трех источников низкой частоты.

Блок-схема рис. 6 может быть применена и для магнитофонов с двумя комплектами головок. Для этого необходимо ввести в схему два реле (одно для переключения головок воспроизведения, а другое для переключения головок записи и стирания) и управлять имн одновременно с реверсированием двигателя.

Иногда необходимо стереть неудачную часть записи. Сделать это обычным путем, т. е. в процессе записи при закрытом регуляторе уровня (чтобы на ленту ие наносилась новая запись), довольно трудно, так как легко можно ошибиться и стереть не весь требуемый участок фонограммы или, наоборот, стереть н нужную часть записи. Эти трудности объясняются отсутствием в этом случае слухового контроля фонограммы.

Для такого выборочного стираиия отдельных участков ленты или, как говорят, для «редактирования» записи можно ввести в магнитофон специальную кнопку «редактирование» и поставить после воспроизводящей головки (по ходу ленты) дополнительную головку стирания. Во время воспроизведения записи, в которую надо внести поправки, как только услышано начало участка фонограммы, подлежащего стираиию, иажимают кнопку «редактирование». Прн этом включается анодное напряжение на генератор высокой частоты н к выходу последнего подсоединяется дополнительная головка стирания. Кнопка нажата, н фонограмма стирается до тех пор, пока не услышано начало того участка, который уже не нужно стирать. При такой системе будет слышна стираемая часть фонограммы и благодаря контролю можно точно удалять ненужное нз записи.

Чтобы прн нажатии кнопки «редактироваиие» не включалась основная головка стирання н не подавалось подмагннчивание на записывающую головку (что нарушнло бы процесс редактировання), блок-схему рис. 6 частично нзменяют и тогда она прнннмает в своей высокочастотной части вид, показанный на рис. 8. В этой блок-схеме переключатели $П_7$ и $П_6$ замыкают свои цепи только при нажатнн на лентопротяжном механнзме кнопки «запись».

Кнопка «редактнрование» может быть введена не только в блок-схему на рис. 6, но и в другие схемы. В частности, она очень полезна в диктофонах, собираемых обычно по блок-схеме, приведеной на рис. 3, в которую можно виестн дополнения, аналогичные приведенным иа рис. 8.

Бытовые магнитофоны могут быть значительно упрощены и удешевлены, если согласиться с тем, чтобы громкоговорящее воспроизведение записей осуществлялось только через низкочастотную часть радиоприемника или телевизора. Тогда отпадает необходимость иметь в магнитофоне оконечный (мощный) каскад усилителя и громкоговоритель; кроме того, выпрямитель магнитофона становится меиее мощным. Соответствующие изменения претерпевают в этом случае блок-схемы, изображенные на рис. 3, 5 и 6.

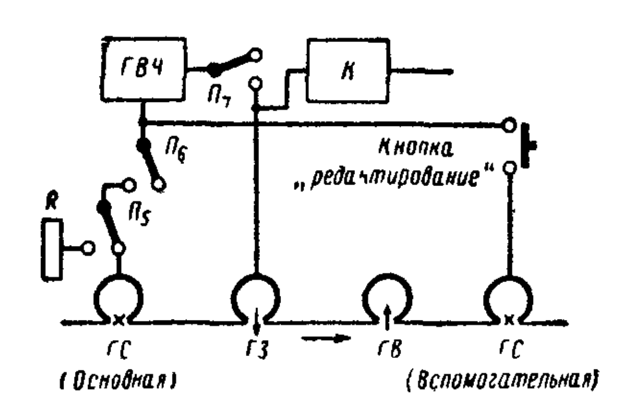


Рис. 8 Блок-схема включения двух стирающих головок.

Переходим к рассмотрению более простых блок-схем магнитофонов.

Первая из них изображена на рис. 9. Магнитофон, собранный по такой схеме, рассчитан так же на совместную работу с радиоприемником. К числу таких магнитофонов относятся всевозможные приставки, использующие механизм грампроигрывателя, а также наиболее дешевые аппараты для домашнего пользования. Блок-схема на рис. 9 не пригодна для записи с микрофона (кроме угольного), так как ее чувствительность по входу равна нескольким вольтам, и поэтому позволяет вести запись только с выхода радиоприемника или от трансляционной линии. Входиой сигнал через регулятор уровня записи и частотный предысказитель поступает на универсальную магнитую головку *ГУ*. При воспроизведении эта же головка подключается к усилителю воспроизведения, содержащему один-два каскада и развивает на выходе напряжение, достаточное лишь для телефонных трубок. Для громкоговорящего прослушивания выход магнитофона надо соединить с внешним усилителем нли с гнездами для звукоснимателя в радиоприемнике. Несложные функции, которые выполняет в данной схеме усилитель воспроизведения, позволяют обойтись в нем без регуляторов громкости и тембра, так как они имеются в радиоприемннке или внешнем усилителе.

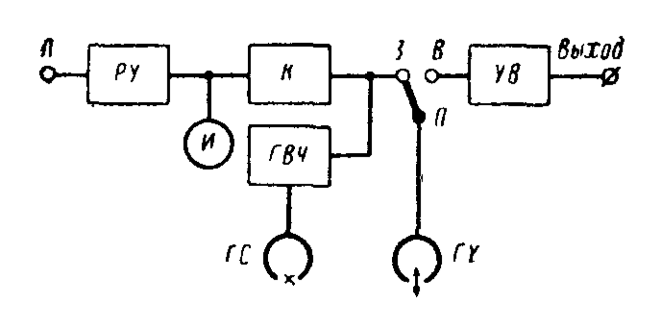


Рис. 9. Блок-схема магнитофона, предназначенного для совместной работы с радиоприемником.

Вариантом блок-схемы на рис. 9 может быть схема с использованием для воспроизведения электронной лампы генератора высокой частоты в качестве оконечного усилителя, работающего на громкоговоритель. Это позволяет при том же количестве ламп и электроэнергии благодаря иезначительиому усложнению схемы получить в магннтофоне громкоговорящее прослушивание записн без подсоединения каких-либо внешних устройств.

Блок-схема на рис. 9 может быть упрощена, если ленту, предназначенную для записн, размагничивать предварительно на другом

магнитофоне[1] или при помощи специального электромагнита, питаемого от сети переменного тока. В этом случае из блок-схемы можно исключить головку стирания, а генератор высокой частоты сделать маломощным. Это позволит сократить габариты и вес магнитофона, особенно если построить генератор высокой частоты и усилитель воспроизведения на транзисторах.

В ряде случаев магнитофоны предназначаются исключительно для речевых записей, при этом к ним не предъявляют требование высокого качества звучания. К числу таких магнитофонов относятся, например, те, которые используются для записи диспетчерских распоряжений и служебных телефонных переговоров.

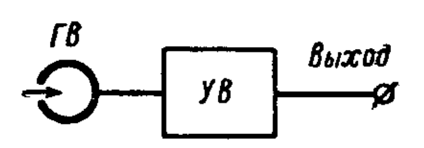


Рис. 10. Блок-схема воспроизводящего магнитофона.

Для таких магнитофонов блок-схема на рис. 9 может быть упрощена, если исключить из нее генератор высокой частоты и перейти на стирание и подмагничивание постоянным магнитным полем. Кроме того, контроль уровня записи по индикатору можно заменить контролем на телефонные трубки, подключаемые вместо индикатора.

К числу простых относится также блок-схема магнитофона, рассчитанного только на воспроизведение (рис. 10). Таким магнитофоном может быть, например, звуковоспроизводящая часть кинопроектора, аппарат для передачи радиопозывных, аппарат для передачи реклам и различных справок, автоответчик, сообщающий сведения о режиме работы какого-либо механизма или о протекании какого-либо процесса, а также магнитофон для радиотрансляционных узлов в поездах и на самолетах, где самостоятельная запись не требуется и нужно только воспроизведение.

Блок-схема на рис. 10 очень проста и не требует подробных пояснений. Усилитель воспроизведения снабжен установочным регулятором усиления для уравнивания выходных напряжений, даваемых несколькими магнитофонами при их поочередной работе. Так как такие магнитофоны применяются в сочетании с усилительной аппаратурой (трансляционный узел, линейные усилители и др.), они не должны иметь в своем составе оконечного усилителя. Усилитель воспроизведения целесообразно строить на транзисторах для сокращения его габаритов и веса.

Все рассмотренные блок-схемы относились к монофоническим магнитофонам. В последние годы широкое распространение стали получать двухканальные стереофонические бытовые магнитофоны как двух-, так и четырехдорожечные.

Блок-схема двухканального стереомагнитофона представляет собой соединение двух блок-схем монофонических магнитофонов (в одном из рассмотренных вариантов) с некоторыми добавлениями и изменениями.

Вместо магнитных головок в стереомагнитофоне применяют двухдорожечные блоки головок[2], содержащие по две головки, каждая из которых подсоединена к своему каналу.

[1] Если этот магнитофон имеет большую скорость ленты, то необходимо предварительно убедиться, что записываемые на ленте при ее размагничивании высокочастотные колебания тока подмагничивания на более медленной скорости не будут прослушиваться как сопровождающий запись высокий звук.

[2] См. Е. Г. Ефимов «Магнитные головки», «Энергия», МРБ, вып. 639, 1967.

В каждом канале регулируются индивидуально ток подмагничивания, усиление, предыскажения и коррекция. С их помощью компенсируются, в частности, неизбежные различия между магнитными головками блоков, усилителями, микрофонами и громкоговорителями обоих каналов.

Кроме индивидуальных, предусматриваются сдвоенные регуляторы громкости и тембра, действующие одновременно в обоих каналах при воспроизведении.

В некоторых случаях идентичность каналов воспроизведения по усилению бывает полезно нарушить. Необходимость такого разбаланса определяется иногда акустическими особенностями помещения, где установлен магнитофон, иногда вкусом владельца аппарата. Для этой цели служит регулятор баланса, представляющий собой второй сдвоенный регулятор усиления обоих каналов, включенный так, что, когда он выводится из среднего положения в одну сторону, усиление правого канала возрастает, а левого уменьшается, при повороте регулятора баланса в другую сторону происходит обратный разбаланс каналов.

Регуляторы уровня записи в обоих каналах делают также чаще всего спаренными, хотя удобнее конструкция, позволяющая при желании разъединить механически эти регуляторы и управлять ими раздельно. Это позволяет при стереофонической записи искусственно перемещать неподвижный источник звука, расположенный симметрично относительно обоих микрофонов.

Общими элементами блок-схемы для обоих каналов служат индикатор уровня и генератор высокой частоты. Индикатор уровня устроен так, что он всегда показывает наибольший из двух уровней записи в обоих каналах, или, если это специальный электронно-оптический индикатор, позволяет оценивать уровень записи в каждом канале отдельно.

Стереофонический магнитофон может использоваться и как монофонический. В этом случае при записи головки стирания и записи в одном канале выключаются, а генератор высокой частоты нагружается на эквивалентный по сопротивлению резистор, чтобы не изменился режим его работы и не изменилось питание головок записи и стирания второго канала. При монофоническом воспроизведении головки воспроизведения остаются соединенными с входами предварительных усилителей, но оба оконечных усилителя со своими громкоговорителями подключаются к одному из предварительных усилителей.

В четырехдорожечных стереомагнитофонах дорожки записи при стереофонической работе выбирают путем переворачивания и перекладывания катушек с лентой, а при монофонической работе, кроме того, и описанной выше коммутацией каналов.

Благодаря относительно большому расстоянию между головками блоков в четырехдорожечном магнитофоне переходное затухание между ними удается получить настолько большим, что становится возможным один канал включать на монофоническую запись, а второй на монофоническое воспроизведение. Такой режим работы полезен для изготовления различного рода монтажей, когда, например, необходимо предварительно записанное на одной дорожке перезаписать на другую дорожку, смешав с сигналами от микрофона или другого источника. Поэтому в наиболее совершенных стереомагнитофонах блок-схема строится так, чтобы путем коммутации можно было выбирать один из следующих режимов работы:

1. Стереофоническая запись по выбору с микрофона, диодного выхода стереофонического радиоприемника, стереофонического звукоснимателя или запись смеси сигналов от этих источников.

2. Стереофоническое воспроизведение.

3. Монофоническая запись сигналов левого канала (дорожки записи *1* и *4*).

4. Монофоническая запись сигналов правого канала (дорожки записи *3* и *2*).

5. Монофоническое воспроизведение сигналов левого канала.

6. Монофоническое воспроизведение сигналов правого канала.

7. Перезапись с левого канала на правый с возможностью примешивания сигналов входных источников.

8. То же, но перезапись с правого канала на левый.

Подводя итоги разбору блок-схем магнитофонов, мы приходим к заключению, что все они строятся из небольшого числа типовых элементов, усилителей воспроизведения, записи, универсальных, микрофонных, оконечных, из частотных корректоров и частотных предысказителей, делителей напряжения, генераторов высокой частоты, индикаторов уровня и элементов коммутации. Если до сих пор разбирались главным образом вопросы сочетания этих типовых элементов в ту или иную блок-схему и рассматривались эксплуатационные свойства, присущие каждой из схем, то далее будет рассматриваться устройство перечисленных типовых элементов и их расчет. При этом такие элементы, как микрофонные и оконечные усилители, почти не будут затронуты, так как они достаточно хорошо известны и имеют мало особенностей, связанных с их использованием в магнитофонах.

Глава вторая

УСИЛИТЕЛИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

3. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

В соответствии с тем, какое место занимают в блок-схемах магнитофонов усилители воспроизведения, на них возлагаются две задачи: 1) предварительное усиление сигналов, получаемых от воспроизводящей головки, доведение их уровня до практически удобного для измерений и прослушивания на головные телефоны, а также для дальнейшей передачи по соединительным цепям к более мощному усилителю и получение уровня сигнала, достаточного для нормальной работы оконечного усилителя; 2) частотная коррекция воспроизводимого сигнала.

Выполнение этих задач связано с определенными трудностями, преодоление которых и есть специфическая особенность схем усилителей воспроизведения. Электродвижущая сила, развиваемая воспроизводящей головкой, особенно на низких частотах рабочего диапазона, весьма мала и обычно даже у высокоомных головок не превышает 100—150 *мкв*. Поэтому серьезная трудность заключается в получении хорошего перекрытия собственных помех усилителя. Частотная коррекция в усилителе воспроизведения обычно достигает

20—25 *дб* и имеет своеобразную характеристику, не встречающуюся в других усилителях низкой частоты. Это — вторая особенность усилителя воспроизведения. Наконец, в высококачественном усилителе воспроизведения нелинейные искажения как гармонические, так и комбинационные должны не превышать 0,5%, с тем чтобы общие нелинейные искажения магнитофона определялись практически только лентой. Таким образом, и в отношении нелинейных искажений приходится считаться с требованиями, необычно жесткими для усилителя низкой частоты. Специфичным для усилителя воспроизведения является и то, что источник входного сигнала (магнитная головка) имеет сопротивление, резко изменяющееся с частотой, так как представляет собой катушку, индуктивность которой доходит иногда до 3—4 *гн*.

Ниже будут рассмотрены каждая из перечисленных особенностей усилителей воспроизведения и соответствующие этим особенностям схемные решения.

4. СОБСТВЕННЫЕ ПОМЕХИ ЛАМПОВОГО УСИЛИТЕЛЯ

Если исключить из рассмотрения, как принципиально не относящихся к усилителю, помехи, обусловленные магнитными, электростатическими и механическими воздействиями на воспроизводящую головку, то в ламповом усилителе воспроизведения встречаются следующие источники помех:

1. *Собственный шум обмотки воспроизводящей головки*, обусловленный тепловым движением свободных электронов в проводе обмотки. Величина его определяется формулой

$$E_{ш.г} = 0,13\sqrt{R_г \Delta f}, \qquad (1)$$

где $E_{ш.г}$ — эффективное значение шумовой э. д. с., *мкв*;
$R_г$ — активное сопротивление головки, *ком*;
Δf — рабочая полоса частот, *кгц*.

2. *Шум, обусловленный дробовым эффектом анодного тока лампы.* Действие этого источника шума принято учитывать включением в цепь сетки так называемого шумового сопротивления лампы $R_ш$, после чего саму лампу можно рассматривать как идеальную, не имеющую дробового шума в анодной цепи.

Величина шумового сопротивления приводится обычно в справочниках и может быть подсчитана для триода по формуле

$$R_ш = \frac{2 \div 2,5}{S}, \qquad (2)$$

где S — динамическая крутизна лампы, *а/в*.

Шумовое сопротивление колеблется у разных типов ламп от 150—200 *ом* у триодов до 25—40 *ком* у пентодов. Возрастание шумов у последних объясняется тем, что к флуктуации из-за нерегулярности работы катода добавляются флуктуации, обусловленные постоянными перераспределениями общего электронного потока, излучаемого катодом между несколькими положительно заряженными электродами (анод, экранирующая сетка). Зная шумовое сопротивление лампы, нетрудно вычислить соответствующую ему э. д. с. шу-

ма, действующую в ее сеточной цепи, для чего в формулу (1) вместо $R_г$ надо подставить $R_ш$.

3. *Шум, обусловленный так называемым фликкер-эффектом или «эффектом мерцания».* Этот дополнительный шум в анодной цепи лампы проявляется на частотах ниже примерно 100 *гц*. Причина его — тоже нерегулярность работы катода, но в отличие от дробового эффекта она связана с более крупными изменениями эмиссионной способности. Действие этого шума может быть также учтено в виде некоторой шумовой э. д. с. в цепи сетки лампы.

4. *Шум, обусловленный дробовым эффектом сеточного тока.* Несмотря на то, что работа лампы усилителя происходит при отрицательном потенциале сетки, некоторый сеточный ток все же имеется. Он так же подвержен действию дробового эффекта, как и анодный ток. В результате возникает некоторая шумовая составляющая сеточного тока $i_{ш.с}$, вызывающая изменение потенциала сетки на величину $i_{ш.с}\ Z_с$, где $Z_с$ — сопротивление, существующее в схеме между сеткой и катодом. Колебания потенциала сетки лампы порождают шум в ее анодной цепи. Действие данного шума может быть учтено посредством генератора шумового тока, подсоединенного к сетке лампы.

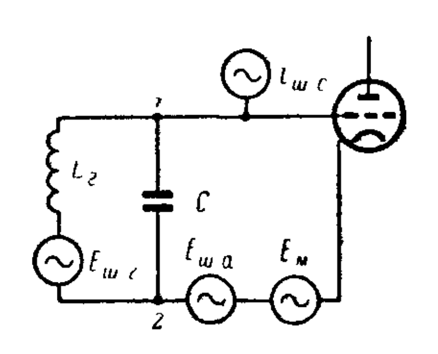


Рис. 11. Эквивалентная схема входа усилителя воспроизведения с источниками шума.

5. *Помеха, обусловленная микрофонным эффектом лампы и проводов сеточной цепи.*

6. *Фон, обусловленный пульсацией напряжений, питающих накал и анод лампы.*

7. *Фон, обусловленный магнитными и электрическими наводками* от внешних источников помех, как на саму усилительную лампу, так и на элементы схемы (особенно находящиеся в сеточной цепи).

Во всех перечисленных случаях имеется в виду первая лампа усилителя воспроизведения, так как полезный сигнал на ее сетке обычно меньше, чем в других каскадах, и поэтому помехи сказываются относительно сильнее.

Рассмотрим действие шумов, перечисленных в пп. 1, 2, 3 и 4.

На рис. 11 приведена эквивалентная схема входа усилителя воспроизведения *, в которой действие шумов учтено включением соответствующих шумовых генераторов, а входная лампа считается идеально нешумящей. В этой схеме: $L_г$ — индуктивность воспроизводящей головки; C — собственная емкость обмотки головки, емкость монтажа и входная емкость лампы; $E_{ш.г}$ — э. д. с. шума обмотки; $E_{ш.а}$ — э. д. с. шума, обусловленного дробовым эффектом анодного тока; $E_м$ — э. д. с. шума из-за эффекта мерцания; $i_{ш.с}$ — шумовой ток, эквивалентный дробовому эффекту сеточного тока.

Если замкнуть сетку лампы (точка *1*) с катодом (точка *2*), то останутся два источника шума: $E_{ш.а}$ и $E_м$. Уменьшение этих шумов может вестись следующими путями.

* Рассматривается случай с непосредственным подключением воспроизводящей головки к сетке первой лампы; однако к такой же эквивалентной схеме может быть приведена и схема с включением головки через трансформатор.

*Дробовой эффект анодного тока $E_{ш.а}$ значительно меньше у триодов, чем у пентодов, поэтому первым следует отдавать предпочтение во входном каскаде *. Кроме того, как это следует из формулы (2), надо выбирать триоды с большой крутизной. Эффект мерцания $E_м$ так же, как и дробовой эффект $E_{ш.а}$, уменьшается при уменьшении анодного тока и при увеличении накального напряжения, так как в обоих случаях возрастает пространственный заряд лампы. Поэтому в допустимых пределах следует выбирать режим входной лампы с учетом изложенного. Из общеупотребительных ламп отечественного производства хорошие результаты дает лампа 6Н3П при напряжении накала 6,8—7 *в* и анодном напряжении 40—60 *в*.

Если разомкнуть контакты *1* и *2* схемы на рис. 11, то начнут действовать еще два источника шума: $E_{ш.г}$ и $i_{ш.с}$. Так как даже у высокоомных воспроизводящих головок $R_г$ не превосходит 500 *ом*, то $E_{ш.г}$, рассчитанная по формуле (1), для самой широкой полосы (15 000 *гц*) получается небольшой (около 0,5 *мкв*).

Действие дробового эффекта тока сетки $i_{ш.с}$ проявляется тем сильнее, чем больше сопротивление между точками *1* и *2*, т. е. полное сопротивление головки, которое определяется ее индуктивностью. Для ослабления действия $i_{ш.с}$ надо стремиться к получению меньшей индуктивности у воспроизводящей головки при сохранении ее полезной э. д. с.

Рассмотрим теперь действие помех, перечисленных в пп. 5, 6 и 7.

Первая из них — помеха из-за микрофонного эффекта лампы и проводов в цепи сетки. Причина этой помехи такова: входная лампа и ее сеточные провода находятся в магнитофоне под действием механических вибраций, возникающих от лентопротяжного механизма и громкоговорителя, а иногда и отдельных толчков от источника вне аппарата. Под действием вибраций расстояния между электродами ламп и между сеточным проводом и проводами или поверхностями, имеющими нулевой потенциал, изменяются. Первое непосредственно вызывает изменение анодного тока, а второе изменяет емкость между сеткой и катодом и благодаря наличию некоторого постоянного заряда на сетке приводит к изменению ее потенциала, что в свою очередь изменяет анодный ток. На выходе усилителя из-за микрофонного эффекта можно ясно услышать вибрации, являющиеся источником этого дополнительного шума.

Борьба с микрофонным эффектом ведется различными способами. Во-первых, разные типы электронных ламп в различной степени подвержены действию микрофонного эффекта. Чем жестче конструкция лампы, тем он меньше. Наиболее хороши в этом отношении так называемые нувисторы и сверхминиатюрные лампы (например, нувистор 6С51Н, триод 6С6Б), за ними следуют триоды пальчиковой серии (6Н1П, 6Н3П). Эти лампы наиболее предпочтительны для входного каскада. Выбирая по каким-либо соображениям лампу другого типа, нужно экспериментально убедиться в том, что она не сильно подвержена действию микрофонного эффекта.

Микрофонный эффект входной лампы может быть значительно снижен путем амортизации ее панельки при помощи цилиндриче-

* Иногда в качестве входной лампы магнитофона применяют так называемый «малошумный» пентод 6Ж32П. Фактически это название объясняется не величиной шума, а нечувствительностью данной лампы к пульсации накального тока, благодаря чему можно питать накал даже переменным током.

ских пружин, резины или пружинной шайбы. При этом необходимо, чтобы все подсоединения к лепесткам ламповой панельки были сделаны мягким проводом достаточной длины, иначе передача вибраций по проводам может свести на нет действие амортизации. Для ламп пальчиковой серии желательно применять панельки с экранами, у которых благодаря внутренней пружине лампа хорошо защищена от вибраций. В наиболее трудных случаях, например, когда входная лампа расположена вблизи от громкоговорителя, для ослабления микрофонного эффекта следует надевать вплотную на баллон лампы войлочный или свинцовый колпак.

Рис. 12. К расчету допустимых пульсаций анодного напряжения.

Чтобы уменьшить микрофонный эффект проводов сеточной цепи, их следует брать тонкими, мягкими и многожильными, а иногда и заключать в звукопоглощающую резиновую трубку.

Разумеется, борьба с помехами из-за микрофонного эффекта может вестить также посредством ослабления действующих на усилитель вибраций или удалением усилителя от их источников. При этом следует помнить о двух главных источниках: электродвигателе лентопротяжного механизма и громкоговорителе.

Следующие по порядку помехи — фоны из-за пульсаций напряжений, питающих усилитель. Естественно, что если усилитель воспроизведения питать от источников постоянного тока, то данный вид помех полностью отсутствует. Однако в большинстве магнитофонов аноды ламп питаются выпрямленным напряжением, а нити накалов — переменным или также выпрямленным напряжением. Из-за неизбежных пульсаций выпрямленных напряжений на выходе усилителя имеются составляющие шума с частотами пульсаций 50, 100, 150 *гц* и т. д., прослушиваемые на слух как фон переменного тока. Для ослабления действия пульсаций анодного напряжения применяют обычные для усилителя низкой частоты анодные фильтры и стараются хорошо сгладить напряжение на выходе выпрямителя. Лучше всего следует фильтровать анодное питание входного каскада, где полезный сигнал наименьший.

Пусть амплитуда напряжения на сетке лампы входного каскада на самой низкой рабочей частоте равна $U_{с.мин}$, а коэффициент усиления каскада для этой частоты равен $K_{макс}$. Напряжение полезного сигнала на аноде будет тогда равно $U_{с.мин} \times K_{макс}$. Задаваясь отношением сигнал/фон, равным D, получим допустимую амплитуду пульсаций на аноде входной лампы

$$U_{фон} = \frac{U_{с.мин} K_{макс}}{D}.$$

Для расчета выпрямителя важно знать коэффициент пульсации питающего напряжения, т. е. напряжения в точках *а* и *б* каскада (рис. 12):

$$p = \frac{U_{фон\,а-б}}{U_{а-б}},$$

где $U_{фон\,а-б}$ — амплитуда пульсаций между точками *а* и *б*, *в*;
$U_{а-б}$ — величина постоянного напряжения между теми же точками, *в*.

Так как

$$U_{фон\,а-б} = U_{фон} \frac{R_a + R_i}{R_i} = \frac{U_{с.мин} K_{макс}}{D} \frac{R_a + R_i}{R_i},$$

то коэффициент пульсации

$$p = \frac{U_{с.мин} K_{макс}}{D U_{а-б}} \frac{R_a + R_i}{R_i}, \qquad (3)$$

где $U_{с\,мин}$ и $U_{а-б}$ — в вольтах, а R_a и R_i — в омах.

В хорошем усилителе воспроизведения p должно быть равно примерно 10^{-7}. Для получения столь малых пульсаций необходимы большая емкость конденсаторов фильтра выпрямителя и многозвенная фильтрация.

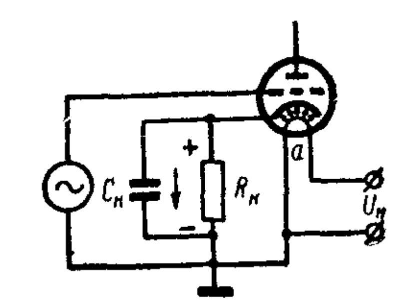


Рис. 13. Прохождение электронов с нити накала на катод — одна из причин фона усилителя.

Питание нитей накала подогревных ламп не переменным, а выпрямленным напряжением на первый взгляд кажется необязательным и даже излишним. На практике, однако, выяснено, что даже при питании накала первой лампы выпрямленным, но плохо сглаженным напряжением в большинстве случаев все же создается довольно заметный уровень фона.

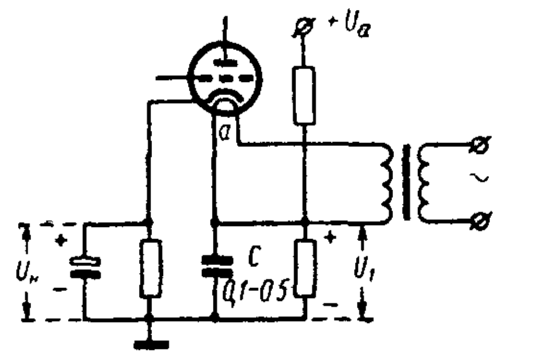
Одной из основных причин этого можно считать воздействие пульсаций тока, протекающего через нить накала лампы, на управляющую сетку этой же лампы через резистор смещения в ее катоде. При автоматическом сеточном смещении от прохождения анодного тока через резистор $R_к$ в цепи катода (рис. 13) последний приобретает положительный потенциал по отношению к заземленной нити. Поэтому электронный поток, эмиттированный нитью накала, через поры в керамике подогревателя устремляется к положительно заряженному катоду. По той же цепи проходят и ток утечки с нити на катод, и ток через внутреннюю емкость между ними. В результате через резистор $R_к$ протекает пульсирующий ток, напряжение смещения также пульсирует, что и служит причиной появления фона в анодной цепи.

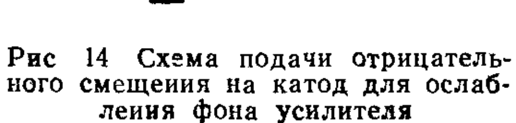
Наилучший способ устранения этой причины — питание накала первого (а иногда и второго) каскада хорошо сглаженным выпрямленным напряжением.

Дополнительными мерами снижения фона служат шунтирование резистора смещения $R_к$ конденсатором $C_к$ большой емкости (200—500 *мкф*), а также подача на катод отрицательного смещения 15—20 *в* относительно нити накала. В последнем случае применяют схему, показанную на рис. 14, в которой потенциал катода относительно нити отрицателен, так как U_1 выбирается больше $U_к$. В этом случае устраняется поток эмиттированных нитью электронов к катоду, и фон значительно ослабевает. Конденсатор C в этой схеме делает потенциал нити накала по переменному току нулевым. При его отсутствии всевозможные помехи, проникающие из осветительной сети

в обмотку накала трансформатора питания, попадают через внутриэлектродную емкость нить накала — катод в цепь катод — сетка лампы усилительного каскада и прослушиваются на выходе усилителя как громкие щелчки и трески

Фон усилителя может быть несколько ослаблен, если вместо заземления одного из концов нити накала заземлить ползунок низкоомного потенциометра, включенного параллельно нити накала Положение ползунка выбирается экспериментально, по минимуму фона,




Рис 14 Схема подачи отрицательного смещения на катод для ослабления фона усилителя

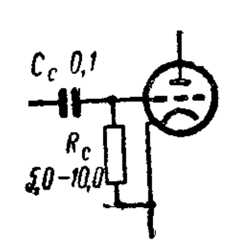


Рис 15 Схема подачи сеточного смещения за счет сеточного тока

к сожалению, оно зависит от асимметрии осветительной сети и поэтому нестабильно

Дополнительная мера заключается также в отказе от автоматического сеточного смещения за счет анодного тока. Из предыдущих двух случаев ясно, что резистор смещения в цепи катода служит путем для проникания фона и помех из цепи накала в сеточную цепь лампы, и с этой точки зрения он нежелателен Во входном каскаде, где амплитуда сигнала мала и требуемое смещение на сетке не превышает 1,5—2 *в*, его можно получить за счет сеточного тока (рис. 15). Относительно большая емкость (0,1 *мкф*) конденсатора C_c объясняется тем, что при малой емкости разделительного конденсатора увеличивается сопротивление между сеткой и катодом лампы для низких частот, таких, например, как 50, 100 и 150 *гц* Вследствие этого становится более сильным действие электрических наводок на сетку с тех элементов или точек схемы, которые имеют потенциал, пульсирующий с указанными частотами Чтобы уменьшить действие помехи на разделительный конденсатор, его желательно поместить в металлический экран, удаленный от обкладок конденсатора.

В итоге рассмотрения вопроса о питании ламп усилителя воспроизведения можно сделать вывод, что не только в магнитофонах профессионального назначения, но и в более дорогих моделях бытовых магнитофонов питать усилитель следует хорошо сглаженным, выпрямленным напряжением Во всяком случае это обязательно для первого каскада. Для простых магнитофонов, рассчитанных на речевые записи, и диктофонов допустимо питание накала переменным напряжением с использованием изложенных выше мер уменьшения фона.

Переходим к помехам, обусловленным магнитными и электрическими наводками Эти наводки сильнее всего сказываются в первом каскаде и во входной цепи. Источниками магнитных наводок в маг-

нитофоне могут быть электродвигатели, электромагниты, остеклованные проволочные резисторы и реле в лентопротяжном механизме, а также трансформатор питания и дроссель фильтра в выпрямителе. При конструировании магнитофона нужно мысленно проследить направления магнитных полей этих источников и постараться так расположить их относительно наиболее чувствительных частей схемы (входных цепей и первого каскада усилителя воспроизведения), чтобы они оказали на них возможно меньшее влияние.

Часто применяемые стальные шасси для усилителя воспроизведения нежелательны. Такие шасси концентрируют в себе магнитные потоки рассеяния от источников фона Сеточный вывод лампы и входной провод, проходящие через отверстие в таком шасси, оказываются в результате под воздействием более сильного поля наводок, чем при шасси из немагнитного материала (например, дюралюминия) Чтобы ослабить воздействие помех на сеточный провод, его нельзя делать одиночным, а надо как можно чаще свить с проводом нулевого потенциала и в таком виде вывести к входному разъему или входному трансформатору. В этом случае поле помехи будет индуктировать в каждом из свитых проводов примерно одинаковые э д с., которые в результате компенсируют друг друга. Тщательное свивание входных проводов служит лучшей защитой их от магнитных наводок. Чтобы шаг свивания получался мельче, входные провода должны быть тонкими (например, провод МГШД7×0,1).

Если усилитель воспроизведения содержит входной трансформатор, то его следует помещать в двойной или даже тройной экран из пермаллоя с возможно большими зазорами между отдельными экранами, а выводы от первичной обмотки перевивать так же тщательно, как и идущие от вторичной обмотки к сетке и точке нулевого потенциала.

Не следует, наконец, забывать, что внешние магнитные поля могут воздействовать и непосредственно на электронный поток входной лампы, вызывая его пульсацию. Если не удается расположить лампу так, чтобы силовые линии внешних полей не пересекали пучок электронов, летящих к аноду, ее надо закрыть пермаллоевым экраном

Электрические наводки происходят через паразитные емкости монтажа. В схеме имеется много проводов, имеющих высокий потенциал, пульсирующий с частотами 50, 100 и 150 *гц* К ним относятся все выводы от трансформатора питания (особенно от повышающей обмотки), сетевой шнур или разъем и другие провода. Достаточно небольшой емкости между этими проводами и проводами и деталями первого каскада, чтобы возникло заметное увеличение фона усилителя. Поэтому прибегают к электрическому экранированию наиболее чувствительных мест схемы. Оно значительно проще, чем магнитное экранирование, и состоит в том, что экранируемый объект заключают в металлический кожух, соединенный с шасси усилителя Наилучшим для экрана служит металл с большой проводимостью (например, медь).

Практически электрическое экранирование выполняют следующим путем На витые входные провода надевают медную (луженую) броню Чтобы уменьшить емкость проводов на землю и защитить их изоляцию от повреждения, на провода предварительно надевают хлорвиниловую или линоксиновую трубку и уже поверх нее броню. Одиночные сеточные провода второго, а иногда и третьего каскада также помещают в броню. Наружный экран входного трансформа-

тора соединяют с шасси. Ламповую панельку первого каскада с относящнмися к ней деталями закрывают снизу небольшим изогнутым металлическнм листом, а на лампу надевают металлический колпак. Металлические корпуса потенцнометров и конденсаторов соединяют с шасси.

При питании накала плохо сглаженным напряжением наблюдаются электростатические наводки иа сеточный вывод от накальных проводов, подходящих к ламповой панельке первого каскада. Эги наводки могут быть значнтельно ослаблены, если при монтаже подпаять к ближайшему от сеточного вывода накальному выводу провод, соединенный по схеме с точкой нулевого потенциала (на рис. 13 и 14 ои обозначен буквой *а*).

5. СОБСТВЕННЫЕ ШУМЫ ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Первые отечественные транзнсторы типов П1 и П13 имели настолько высокий собственный уровень шума, что выполнить на них усилитель воспроизведения не представлялось возможным. Транзисторы более поздних выпусков, такие как П5Д, П13Б, особенно П28 и П41Б, позволяют создать схемы усилителей, не уступающие по качеству ламповым, а учитывая возможностн радиолюбителей, даже превосходящие их по качеству.

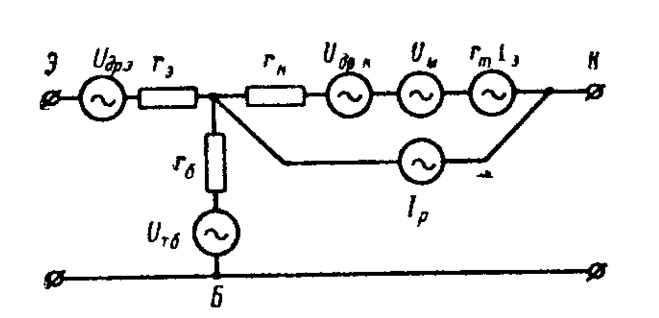


Рис. 16. Эквивалентная схема транзистора с источниками шума.

Природа и характер собственных шумов транзисторов значнтельно отличаются от ламповых шумов. В транзисторе имеются два *p-n* перехода (эмиттерный и коллекторный), разделенных базовой областью, представляющей собой иа низкнх частотах активное сопротивление для носителей электрическнх зарядов. В соответствии с физическимн явлениями, возникающими в *p-n* переходах и в базовой области можно различать следующие источники шумов (рис. 16).

1. *Тепловой шум сопротивления базы.* Эта составляющая собственного шума транзистора появляется в результате взаимодействия свободных носителей, находящихся в области базы, с тепловыми колебаниями кристаллической решетки полупроводника. Так как шумы имеют тепловой характер, то они зависят от активного сопротивления базы $r_б$ (*ом*), окружающей абсолютной температуры T (*град*), рабочей полосы частот усилителя Δf (*гц*) и могут быть вычнслены по формуле

$$U^2_{тб} = 4KT\, r_б\, \Delta f, \tag{4}$$

где K — постоянная Больцмана.

Такнм образом, тепловой шум базы тем меньше, чем меньше сопротивление базы транзистора; от режима транзистора тепловой шум не зависит и распределен по частоте равномерно.

2. *Дробовой шум эмиттерного и коллекторного переходов.* Составляющие дробового шума возникают вследствие того, что свободные носители пересекают область объемного заряда хаотически. Шумовое напряжение, возникающее в каждом переходе, пропорционально току через *p-n* переход, сопротивлению *p-n* перехода, рабочей полосе частот и может быть вычислено по формулам:

$$U^2_{др.э} = 2eI_э\, r^2_э\, \Delta f; \tag{5}$$

$$U^2_{др.к} = 2eI_{к0}\, r^2_к\, \Delta f, \tag{6}$$

где e — заряд электрона.

Дробовые шумы транзистора тем меньше, чем меньше токи через переходы н меньше сопротивления переходов. Дробовые шумы распределены по частоте также равномерио.

3. *Шумы перераспределения тока эмиттера.* Во время работы транзистора ток, прошедший через эмиттерный переход, распределяется на две составляющие, из которых одна течет к коллектору, а другая — к базе. Перераспределение тока вызывается процессами генерации-рекомбинации носителей в базовой области и подчиняется статистическим законам. Флуктуации тока перераспределения приводят к появлению шумового тока, который может быть определен по формуле

$$I^2_p = 2e\alpha I_э \left(1 - \alpha + \frac{I_{к0}}{I_к}\right) \Delta f. \tag{7}$$

Шумы перераспределения тем меньше, чем меньше ток эмиттера $I_э$, меньше ток утечки $I_{к0}$ н больше коэффициент усиления транзистора α. Эти шумы также распределены по частоте равномерно.

4. *Мерцательные (полупроводниковые) шумы.* Эти шумы характерны для транзисторов и особенно неприятны для усилителей воспроизведения магнитофонов. Физическимн причинами появления мерцательных шумов можно считать нарушения в кристаллической решетке полупроводника, особенности его электропроводности и процессы рекомбинацин в поверхностном слое. Обычно мерцательные шумы коллекторного перехода значительно выше мерцательных шумов эмиттерного перехода, поэтому последними пренебрегают. Величина мерцательиых шумов может быть определена по формуле

$$U^2_м = \frac{\sigma U^{\alpha}_к\, r^{\beta}_к}{f\gamma}, \tag{8}$$

где σ — коэффициент, зависящий от свойств материала полупроводника и технологни его изготовления, а $\gamma = 0{,}9 \div 1{,}2$; $\alpha = 1{,}2 \div 1{,}8$; $\beta = 1 \div 2$ — некоторые постоянные коэффициенты. Мерцательные шумы прямо пропорцнональны напряжению $U_к$ иа коллекторе транзистора н обратно пропорциональны частоте f. В связи с этим они преобладают над всеми остальными шумами в транзисторе в области низкнх частот. С повышением частоты их интенсивность падает и на частотах выше нескольких килогерц преобладать начинают дробовые и тепловые шумы.

Приведенные формулы показывают, что собственный шум транзистора зависит от выбора его рабочего режима и снижается при уменьшеиии питающих напряжеиий и токов. Однако уменьшение α

транзистора с уменьшением $I_э$ и $U_к$ приводит к тому, что в первом каскаде выбирают компромиссное решение и устанавливают:

$$I_э = 0,2 \div 0,5 \text{ ма}; \quad U_к = 0,5 \div 1,5 \text{ в}.$$

Вследствие жесткости и миниатюрности конструкции транзисторов микрофонный эффект, свойственный лампам, в них отсутствует. Так же отсутствуют фоны, обусловленные пульсацией напряжения накала. Что же касается фонов, вызываемых магнитными и электрическими наводками, а также пульсацией напряжения питания, то они сказываются в меньшей степени. Низковольтное питание дает возможность применить фильтрующие конденсаторы большой емкости и малых габаритов в развязывающих цепях, а малые размеры деталей транзисторных схем позволяют легче их экранировать.

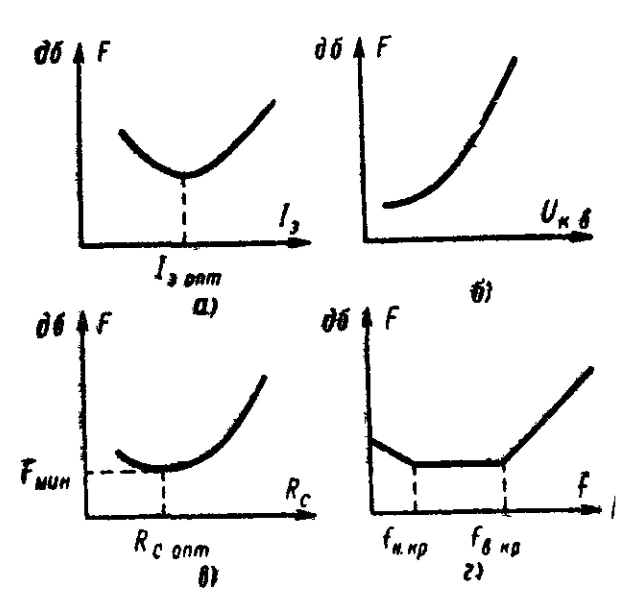


Рис. 17. Зависимость коэффициента шума транзистора F от эмиттерного тока (*а*), напряжения на коллекторе (*б*), сопротивления источника сигнала (*в*) и частоты (*г*).

Важное значение имеет метод оценки собственных шумов входного транзистора. Заводы — изготовители транзисторов оценивают собственные шумы транзисторов при помощи коэффициента шума F. Коэффициент шума представляет собой отношение общей мощности шумов на выходе транзистора (без учета шума, возникающего в сопротивлении нагрузки) к той их части, которая обусловливается шумами в сопротивлении источника сигнала, т. е.

$$F = \frac{P_{ш\,вых}}{P_{ш.н} K_p},$$

где K_p — коэффициент усиления транзистора по мощности.

Обычно коэффициент шума измеряют на частоте 1 000 *гц*, при комнатной температуре и в узкой полосе частот (1 *гц*). Величину F указывают в паспорте для малошумных транзисторов.

Установлено, что коэффициент шума практически одинаков при включении транзистора по схемам с общими базой, эмиттером или коллектором. Однако его величина зависит от режима питания транзистора (рис. 17, *а*, *б*) и от сопротивления источника входного сигнала (рис. 17, *в*). Интересно изменение коэффициента шума с частотой. На низких частотах коэффициент шума F уменьшается по закону 6 *дб* на октаву до частоты $f_{н.кр}$ ($f_{н.кр} \approx 1$—5 *кгц* для отечественных транзисторов), затем он постоянен до частоты $f_{в.кр}$ ($f_{в.кр} = \sqrt{f_\alpha f_\beta}$, где f_α — граничная частота транзистора по α, а f_β — граничная частота транзистора по β), далее коэффициент шума возрастает по закону 12 *дб* на октаву (рис. 17, *г*).

Цепь температурной стабилизации рабочей точки транзистора увеличивает коэффициент шума каскада, так как в резисторах этой цепи дополнительно возникают тепловые шумы. Оценивать собственные шумы входного транзистора можно в любительских условиях по величине шума на выходе усилителя. Чем меньше выходной шум, тем лучше транзистор. В этом случае всегда следует проверять общий коэффициент усиления усилителя. Иначе незначительное снижение шума на выходе может сопровождаться значительным уменьшением усиления, и замена транзистора на «лучший» теряет смысл.

6. ОТНОШЕНИЕ СИГНАЛ/ПОМЕХА

Выше рассматривались различные причины собственных помех усилителя воспроизведения и некоторые способы их уменьшения. Однако практическое значение имеет не абсолютная их величина, а относительная, по сравнению с полезным сигналом, т. е. величина отношения сигнал/помеха. Это отношение влияет на максимально допустимый динамический диапазон записи и служит важным качественным показателем усилителя.

Как уже упоминалось, шумы и фоны усилителя создаются главным образом первым каскадом и его входными цепями. Поэтому борьба за достаточно большое отношение сигнал/помеха в усилителе может вестись или путем увеличения полезного сигнала на входе первого каскада, или путем уменьшения собственных помех лампы или транзистора этого каскада и входных цепей. В ряде случаев изменение полезного сигнала из-за того или иного изменения в схеме вызывает одновременно изменение помех. Однако отношение сигнал/помеха может при этом не оставаться постоянным и иметь при определенных данных желательный максимум. В данном параграфе различные схемы первого каскада усилителя и его входные цепи будут рассматриваться именно с этой точки зрения.

Вначале уточним, какие значения сигнал/помеха необходимо иметь в усилителе воспроизведения. Известно, что все качественные показатели магнитофонов, использующих магнитную ленту шириной 6,25 *мм*, нормируются ГОСТ 08088-66 в зависимости от назначения магнитофона и рабочей скорости движения ленты. Величина помех в канале воспроизведения по отношению к максимальному полезному сигналу не должна, например, превосходить — 64 *дб* для студийных монофонических магнитофонов, работающих при скорости ленты 381 *мм/сек*.

Далее следует уточнить, что приведенные в ГОСТ цифры характеризуют допустимую интенсивность всех помех усилителя воспроизведения, т. е. соответствуют показаниям вольтметра, измеряющего на выходе эффективное напряжение помех, безотносительно от того, каковы их источники и характер. Такая «объективность» не свойственна человеческому слуху, различно реагирующему на помехи, одинаковые по силе, но разные по своему частотному спектру. Так как в конечном итоге полезным результатом работы магнитофона следует считать создание у слушателей при воспроизведении определенного слухового впечатления, целесообразно рассмотреть с этой точки зрения и различные источники помех усилителя воспроизведения и постараться дифференцировать приведенные в ГОСТ нормы на суммарные помехи между их отдельными составляющими.

В первом приближении все помехи по их спектру можно разделить на две группы: низкочастотные (примерно до 200 *гц*) и высокочастотные (выше 200 *гц*). К низкочастотным относятся фон переменного тока и шум из-за эффекта мерцания катода, а к высокочастотным — термические шумы сопротивления входной цепи и шумы из-за дробового эффекта в анодном и сеточном токах.

В транзисторных усилителях к низкочастотным помехам относятся мерцательные шумы и иногда фон переменного тока, а к высокочастотным все остальные, свойственные транзисторам шумы, рассмотренные выше. Термические шумы входной цепи (головка, трансформатор) также относятся к высокочастотным, однако в транзисторных усилителях их можно не учитывать ввиду относительной малости.

Низкочастотные шумы слышны как гудение, сопровождаемое при наличии высших гармоник сетевого напряжения характерным звуком, напоминающим звучание буквы «з» и как отдельные шорохи и хлопки, обусловленные действием эффекта мерцания. Ухо сравнительно слабо реагирует на эти шумы, к тому же многие громкоговорители плохо их воспроизводят из-за завала частотной характеристики на низких частотах.

Высокочастотные шумы ощущаются на слух как шипение. В отличие от низкочастотных они хорошо воспроизводятся громкоговорителем, хорошо слышны и оказывают весьма неприятное, раздражающее впечатление на слушателей. Поэтому если в приведенном выше примере для скорости ленты 381 *мм/сек* относительная величина суммарных помех усилителя воспроизведения должна составлять не более — 64 *дб*, то из них на долю высокочастотных шумов можно допустить не более — 75 *дб*.

Возвращаемся к основному вопросу об увеличении отношения сигнал/помеха в усилителе воспроизведения, начав с усилителя на электронных лампах. Выше указывалось, что одним из способов повышения этого отношения может быть увеличение полезного сигнала на сетке лампы первого каскада. Постараемся выяснить, от каких причин зависит этот сигнал и какие способы его увеличения имеются в распоряжении конструктора. При этом будем иметь в виду, что воспроизводящая магнитная головка включена непосредственно в сеточную цепь лампы первого каскада. В этой схеме полезный сигнал определяется э. д. с., развиваемой воспроизводящей головкой и приблизительно равной:

$$E = \omega w \Phi \frac{\sin \frac{\pi l}{\lambda}}{\pi l/\lambda}, \qquad (9)$$

где $\omega = 2\pi f$ — круговая частота воспроизводимого сигнала;
Φ — магнитный поток, исходящий из фонограммы;
w — число витков обмотки;
$\dfrac{\sin \frac{\pi l}{\lambda}}{\pi l/\lambda}$ — множитель, характеризующий так называемые «щелевые потери», т. е. уменьшение э. д. с. головки по мере приближения длины волны записи $\lambda \approx v/f$ к эффективной ширине рабочего зазора головки l.

Рассмотрим первоначально величину э. д. с. E_f на какой-либо фиксированной частоте, т. е. при условии $\omega \dfrac{\sin \frac{\pi l}{\lambda}}{\pi l/\lambda} = \text{const}$. Тогда э. д. с. пропорциональна сомножителям Φ и w, и увеличения ее можно достичь, увеличивая тот или другой сомножитель. Обозначим через E_1 и L_1 э. д. с. и индуктивность головки определенной конструкции, имеющей обмотку из одного витка и ширину сердечника 1 *мм*, и назовем их единичными параметрами конструкции. Отметим, что под определенной конструкцией мы будем понимать форму, размеры и материал магнитопровода, размеры и материал рабочего зазора, а также способ крепления магнитопровода и нанесения обмотки. Все эти факторы, влияющие на работу головки, и определяют величину единичных параметров E_1 и L_1 и могут ими характеризоваться.

Поток, переходящий из фонограммы в сердечник головки, в первом приближении пропорционален ширине сердечника b и равен $\Phi = \Phi' b$, где Φ' — поток, исходящий из дорожки записи шириной 1 *мм*. Тогда мы можем записать пропорциональность: $E_f \approx bw\Phi'$. Максимально возможная величина Φ' определяется качеством ленты и составляет для ленты типов 2 и 6 256 *нвб/м* (эффективное значение). При $b=1$ и $w=1$, $E_f = E_1$. Последнюю пропорциональность можно записать в виде

$$E_f \approx bwE_1. \qquad (10)$$

Увеличение э. д. с. путем увеличения w ограничивается тем, что одновременно возрастает и индуктивность головки, что влечет за собой:

1) возрастание шума лампы из-за дробового эффекта тока сетки (см. § 4), так как $e_{ш.с} = i_{ш.с} Z_с = i_{ш.с} \omega L_г$;

2) возможность возникновения в пределах рабочего диапазона частот резонанса напряжений между индуктивностью головки и ее собственной емкостью, а также емкостью соединительного кабеля и входной емкостью первого каскада. Обычно второе обстоятельство при выборе — главное. Резонанс во входной цепи стараются расположить за пределами рабочего диапазона или в крайнем случае на верхней его частоте $f_в$, так как на частотах более высоких, чем резонансная, отдача головки очень резко падает. Так как суммарная емкость не может быть практически получена меньше $C_г = 50$ *пф*, приходится ограничивать индуктивность воспроизводящей головки некоторой максимально допустимой величиной $L_{г\,макс}$, выбранной так, что

$$\frac{1}{2\pi \sqrt{L_{г.макс} C_г}} \geqslant f_в.$$

Например, при $f_в \approx 16\,000$ *гц* необходимо иметь $L_г$ не более 1,6 ÷ 1,8 *гн*.

Индуктивность головки можно выразить через единичный параметр L_1, число витков w и ширину сердечника b, т. е. $L_г = L_1 b w^2$, и так как $L_г$ ограничено вышеприведенными соображениями, то максимально допустимое число витков

$$w = \sqrt{\frac{L_{г\,макс}}{L_1 b}}.$$

Подставляя значение w в формулу (10), получим:

$$E_f \approx bE_1 w = bE_1 \sqrt{\frac{L_{г.макс}}{L_1 b}} = \frac{E_1}{\sqrt{L_1}} \sqrt{L_{г.макс} b}. \qquad (11)$$

Напомним, что отношение $E_1/\sqrt{L_1}$ зависит исключительно от конструкции головки.

Из формулы (11) видно, что в пределах данной конструкции головки и максимально допустимой ее индуктивности э. д. с. пропорциональна ширине сердечника и ее целесообразно увеличивать. Разумеется, это справедливо до тех пор, пока сердечник расположен в пределах ширины дорожки записи. Дальнейшее расширение не увеличивая э. д. с., приводит к нежелательному возрастанию $L_г$ и заставляет уменьшить число витков обмотки, что в конечном итоге приводит к уменьшению э. д. с. Но и выбирать ширину сердечника точно равной ширине дорожки записи по ряду причин тоже нельзя. Главная из этих причин заключается в том, что из-за неизбежных колебаний ленты в направлении, перпендикулярном направлению ее движения, будет возникать паразитная амплитудная модуляция воспроизводимого сигнала. Поэтому ширину сердечника воспроизводящей головки целесообразно брать на 10—15% меньше ширины дорожки записи.

Обратимся к формуле (11). Поскольку b выбирают, исходя из ширины дорожки записи, а $L_{г\,макс}$ — из частоты резонанса во входной цепи, мы приходим к важному выводу, что увеличение э. д. с. на какой-либо фиксированной частоте может достигаться только путем увеличения отношения $E_1/\sqrt{L_1} = Q$. Однако это справедливо лишь для низких и отчасти средних звуковых частот, при которых множитель $\frac{\sin\frac{\pi l}{\lambda}}{\pi l/\lambda}$ в уравнении (9) был близок к единице и не учитывался.

Рассматривая вопрос о величине полезного сигнала во всем диапазоне частот, следует принять во внимание этот множитель, и тогда выражение для э. д. с. головки запишется в виде

$$E = \omega Q \sqrt{L_г b}\ \frac{\sin\frac{\pi l}{\lambda}}{\pi l/\lambda}. \qquad (12)$$

На рис. 18 изображены графики частотной зависимости э. д. с. двух головок, у которых при одинаковых $L_г$ и b различна ширина рабочего зазора l. У головки *1* с более узким зазором э. д. с. на низких и средних частотах меньше, так как при уменьшении l понижается коэффициент Q.

Зато на высоких частотах э. д. с. этой головки больше из-за того, что у нее меньше щелевые потери.

Какая из этих головок предпочтительнее с точки зрения отношения сигнал/помеха усилителя? Поскольку, как низкочастотные, так и высокочастотные помехи имеют спектральный характер, перекрытие их нельзя оценить по величине сигнала на одной какой-либо частоте, а правильнее оценивать его по площади частотной характеристики сигнала. В случае, рассматриваемом на рис. 18, низкочастотные помехи лучше перекрываются у головки *2*, так как площадь ее частотной характеристики э. д. с. в диапазоне от $f_н$ до 200 *гц* больше, чем у головки *1*. По тем же соображениям высокочастотные помехи лучше перекрываются сигналом головки *1*. Ей и надо отдать предпочтение, так как ранее указывалось, что слух сильнее реагирует на помехи высокочастотного характера, особенно находящиеся в диапазоне 1—4 *кгц*.

Характеристики, подобные приведенным на рис. 18, могут быть экспериментально получены для ряда головок и по ним можно выбрать наиболее подходящую головку для того или иного магнитофона. Снимать характеристики следует при скорости ленты, головке записи, токе подмагничивания, а также типе ленты, выбранных для данного магнитофона. Обычно оптимальные рабочие зазоры головки воспроизведения получаются равными 20 *мк* для скорости 762 *мм/сек*, 10 *мк* для скорости 381 *мм/сек*, 7 *мк* для скорости 190 *мм/сек* и 6 *мк* для скорости 95 *мм/сек*. Однако здесь могут быть найдены и другие величины, если в магнитофоне не обязательно воспроизводить полный диапазон звуковых частот до 16 000 *гц*.

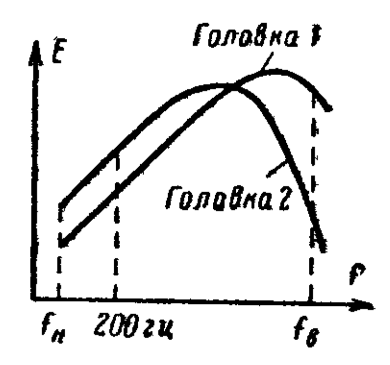


Рис 18. Частотная характеристика э. д. с. двух воспроизводящих головок с различной шириной рабочего зазора.

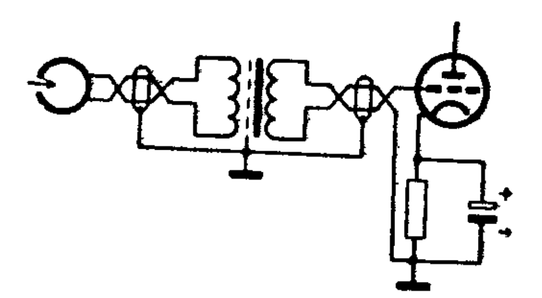


Рис 19. Схема подключения низкоомной воспроизводящей головки к входной лампе.

Подводя итоги изложенному, можно сделать следующий вывод. От схемы с непосредственным подключением головки к сетке лампы первого каскада можно получить достаточное отношение сигнал/помеха при условии, что обмотка головки имеет значительное число витков, ограничиваемое лишь допустимой индуктивностью головки (такие головки называют высокоомными), а ширина рабочего зазора выбрана по максимальной площади частотной характеристики э. д. с. головки. При выполнении этих условий отношение сигнал/помеха будет тем больше, чем выше коэффициент Q головки. Не касаясь подробно способов достижения последнего, укажем лишь, что для увеличения Q следует уменьшить магнитное сопротивление сердечника головки и глубину рабочего зазора.

Схема усилителя воспроизведения с непосредственным подключением к сетке лампы высокоомной головки в настоящее время широко применяется. Большое преимущество ее заключается в простоте. Однако такая схема — не единственная.

На рис. 19 приведена другая схема, в которой воспроизводящая головка подключена к входу первого каскада усилителя воспроизведения через трансформатор. Разберем ее преимущества и недостатки.

При трансформаторной схеме воспроизводящая головка должна иметь сравнительно небольшое число витков (такие головки называют низкоомными), с тем чтобы ее сопротивление $\omega L_г$ можно было согласовать с входным сопротивлением трансформатора. Электродвижущая сила, развиваемая такой головкой, в несколько раз меньше, чем у высокоомной, однако сигнал на сетке лампы первого каскада благодаря повышающему действию входного трансформатора может

быть в этой схеме даже больше, чем в схеме с непосредственным подключением высокоомной головки к сетке лампы. Особенно это относится к низким частотам, при которых повышение уровня полезного сигнала зависит только от коэффициента трансформации. Если выбрать последний около 1 : 50, то можно получить столь хорошее перекрытие низкочастотных помех первого каскада, что станет возможным ослабить некоторые меры борьбы с ними, например можно перейти на питание накала менее сглаженным напряжением. Хорошее перекрытие низкочастотных помех — первое преимущество рассматриваемой схемы.

При непосредственном подключении головки к сетке лампы первого каскада увеличение длины входного кабеля ограничивалось тем, что происходящее при этом увеличение его собственной емкости могло переместить резонанс входной цепи в область рабочего диапазона частот. Поэтому длина кабеля могла быть не более 0,5 *м.* При трансформаторной же схеме длина кабеля может быть при необходимости взята во много раз больше. Из-за малой индуктивности низкоомной головки частота резонанса входной цепи будет в этом случае всегда далеко за пределами звуковых частот. Симметричность входа при трансформаторной схеме делает соединительный кабель менее чувствительным к электрическим наводкам, что также важно при значительной его длине. Конечно, это требует симметричной намотки входного трансформатора и электростатического экрана между обмотками, но и то и другое несложно. Так как входной кабель не соединен непосредственно с сеткой лампы и не несет на себе заряд последней, он меньше склонен и к микрофонному эффекту, что облегчает прокладку его в магнитофоне. Все это вместе взятое позволяет удалять воспроизводящую головку на большое расстояние от усилителя, что представляет собой второе преимущество данной схемы. В некоторых случаях, например в кинопроекторе, где невозможно установить усилитель близко от головки воспроизведения, это преимущество весьма важно.

Перейдем к разбору недостатков схемы с трансформатором. Во-первых, входной трансформатор усложняет конструкцию усилителя. В производственных условиях из-за неизбежного разброса в электрических данных трансформатора усложняется и настройка усилителя. Трансформатор должен быть тщательно экранирован, а иногда и амортизирован, так как в нем может возникнуть микрофонный эффект из-за неизбежной намагниченности сердечника и неплотной обмотки

Во-вторых, высокочастотные шумы в трансформаторной схеме, как правило, выше, чем в бестрансформаторной, по нескольким причинам. С одной стороны, при большом коэффициенте трансформации нельзя получить хорошую частотную характеристику трансформатора на высоких частотах. Полезный сигнал на сетке лампы первого каскада на этих частотах получается даже меньше, чем в бестрансформаторной схеме. С другой стороны, и высокочастотные шумы первого каскада в трансформаторной схеме больше. К термическим шумам обмотки головки еще добавляются шумы обмоток трансформатора. Полное выходное сопротивление трансформатора значительно больше, чем сопротивление высокоомной воспроизводящей головки (особенно на средних частотах), поэтому шум первого каскада из-за дробового эффекта тока сетки лампы в этой схеме тоже больше.

Выбор трансформаторной или бестрансформаторной схемы входа усилителя воспроизведения с точки зрения отношения сигнал/помеха

должен производиться с учетом перечисленных свойств этих схем и требований, предъявляемых к тому или иному магнитофону.

Там, где есть возможность применять высокоомную воспроизводящую головку, предпочтение следует отдать бестрансформаторной схеме. Трансформаторную схему целесообразно применять, во-первых, там, где нельзя по конструктивным соображениям использовать высокоомную головку, например при многодорожечной записи, где из-за близости головок в блоке места для их обмоток остается очень мало. Во-вторых, эта схема рекомендуется там, где дорожка записи имеет очень малую ширину, а требования к перекрытию низкочастотных помех усилителя достаточно высоки. При узкой дорожке э. д. с. высокоомной головки, как это следует из формулы (11), будет мала, и только с низкоомной головкой и с повышающим входным трансформатором можно получить нужное перекрытие помех. В-третьих, трансформаторная схема незаменима, когда воспроизводящая головка и кабель, соединяющий ее с усилителем, испытывают по каким-либо причинам вибрации, или когда необходимо отнести головку на расстояние 2—3 *м* от усилителя, или поочередно коммутировать на вход усилителя несколько головок. Коэффициент трансформации входного трансформатора выбирают в зависимости от ширины рабочего диапазона частот. При $f_в = 16\,000$ *гц* он составляет обычно 15—30. Для более ограниченного диапазона его можно выбирать большим. Следует заметить, что как в трансформаторной, так и в бестрансформаторной схеме сигнал на сетке лампы первого каскада тем больше при прочих равных условиях, чем выше у головки коэффициент Q. Заканчивая анализ ламповых усилителей воспроизведения, рассмотрим специальную схему первого каскада усилителя, позволяющую получить выигрыш в отношении сигнал/шум на 2—3 *дб.*

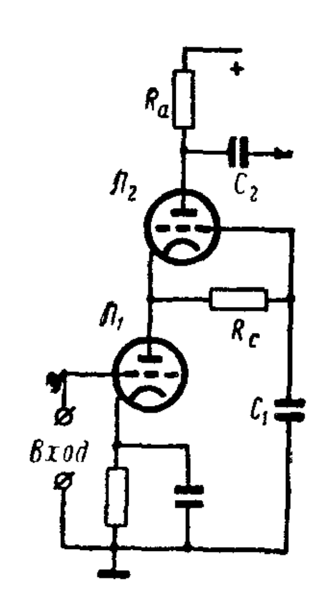


Рис 20. Каскодная схема усиления.

Эта схема приведена на рис. 20 и носит название каскодной (название составлено из начальных и конечных букв полного английского наименования этой схемы). Обычно ее собирают на двойном триоде. Как видно из рисунка, усилительные лампы $Л_1$ и $Л_2$ включены последовательно. Раскачка лампы $Л_1$ происходит от внешнего источника. Усиленное напряжение с анода-катода этой лампы подводится через конденсатор C_1 на сетку-катод второй лампы $Л_2$. Суммарное напряжение, усиленное как первой, так и второй лампой, через конденсатор C_2 передается на следующий каскад.

Каскодную схему включения двух триодов можно рассматривать как схему усиления на пентоде, выполненном в двух баллонах. Сетка лампы $Л_2$ служит как бы антидинатронной сеткой (она заземлена через конденсатор C_1), а анод лампы $Л_1$ вместе с катодом лампы $Л_2$ эквивалентен экранирующей сетке

Действительно, по ряду свойств каскодная схема близка к схеме на пентоде. Например, коэффициент усиления ее значительно больше μ триода, а входная емкость меньше, чем та, которая была бы при обычном включении этих же триодов. Но наиболее интересное свой-

ство схемы заключается в том, что шумы, обусловленные дробовым эффектом анодного тока и эффектом мерцания, в ней получаются на 2—3 *дб* меньше [1].

Переходя к транзисторным усилителям воспроизведения, можно сказать, что и в них сталкиваются с аналогичной задачей выбора индуктивности головки и входной схемы с тем, чтобы получить возможно большее отношение сигнал/помеха. Так как в транзисторных усилителях фон переменного тока обычно намного меньше, чем в ламповых, а в магнитофонах с автономным электропитанием, он вообще отсутствует, то можно в данном случае говорить об отношении сигнал/шум вместо отношения сигнал/помеха.

Значение коэффициента Q воспроизводящей головки проявляется в транзисторном усилителе, так же как и в ламповом: чем больше Q, тем меньше относительный уровень собственных шумов усилителя.

Максимальная индуктивность воспроизводящей головки в транзисторном усилителе также ограничена возникновением резонанса напряжений в пределах рабочего диапазона частот. Однако, эта максимальная индуктивность не бывает обычно оптимальной с точки зрения отношения сигнал/шум. В отличие от электронной лампы шум входного транзистора в большей степени зависит от сопротивления входного источника, а следовательно, и от индуктивности воспроизводящей головки, поэтому для каждого транзистора при определенном режиме его работы существует некоторая оптимальная индуктивность, при которой отношение сигнал/шум будет наибольшим. Расчет отношения сигнал/шум и расчет оптимальной индуктивности приводятся далее в § 9.

Оптимальная индуктивность сравнительно невелика, что в принципе позволяет обойтись в транзисторном усилителе воспроизведения без входного трансформатора. Однако бывают случаи, когда индуктивность головки выбирается меньше оптимальной, тогда трансформатор необходим как согласующее звено между головкой и усилителем. Основанием для выбора малой индуктивности могут быть как конструктивные соображения (малые габариты головки), так и трудности получения для универсальной магнитной головки с большой индуктивностью необходимого тока подмагничивания при сравнительно низком напряжении питания транзисторного генератора высокой частоты.

Прибегают к трансформатору с небольшим коэффициентом трансформации (1 : 2—1 : 3) и в тех случаях, когда воспроизводящая головка значительно удалена от усилителя и для уменьшения действия помех необходимо иметь симметричную соединительную линию.

Рассмотрим несколько наиболее распространенных схем входного каскада транзисторного усилителя воспроизведения. Схема с общим эмиттером изображена на рис. 21. В транзисторе T_1 устанавливают режим, обеспечивающий малый шум ($I_К=0{,}3$ *ма*, $U_{К0}=1$ *в*). Резисторы R_1, R_2, R_5 служат для температурной стабилизации рабочей точки, а развязывающий фильтр C_2 R_6 повышает устойчивость усилителя. Выбор сопротивления резистора последовательной обратной связи R_4 зависит от индуктивности воспроизводящей головки. Чем больше $L_Г$, тем большей выбирают обратную связь. Влияние обратной связи на отношение сигнал/шум усилителя рассматривается далее в § 9. Расчет емкостей блокирующих (C_4) и переходных (C_1 и C_3) конденсаторов ничем не отличается от общепринятого.

Схема, изображенная на рис. 21, работает весьма надежно в интервале температур $+5° \div +60°$ С и широко используется как в профессиональных, так и в любительских магнитофонах.

В радиолюбительской практике часто применяют схему, изображенную на рис. 22. Она значительно проще предыдущей (6 деталей вместо 11), но обладает рядом недостатков. При одинаковых по качеству транзисторах она дает меньшее усиление, имеет меньшее входное сопротивление из-за действия параллельной обратной связи (резисторы R_2 и R_3) и работает неустойчиво при повышенной температуре.

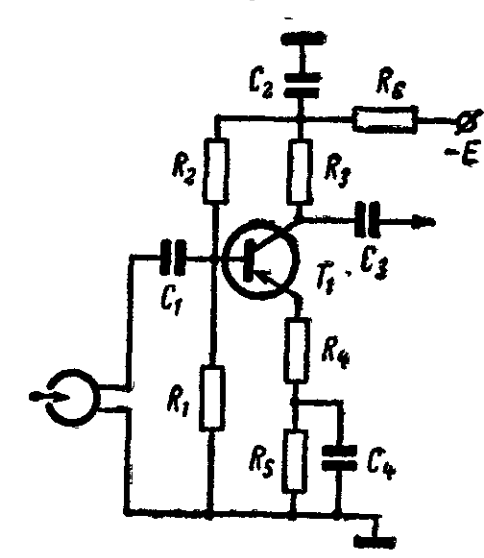


Рис. 21 Первая схема транзисторного входного каскада.

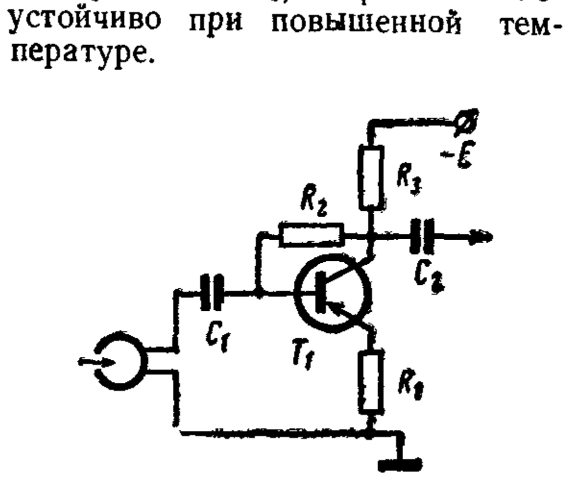


Рис. 22 Вторая схема транзисторного входного каскада.

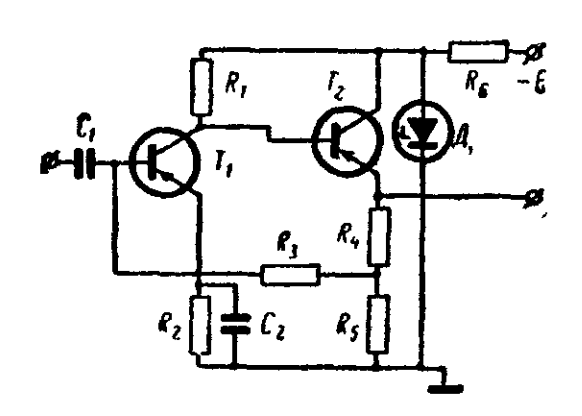


Рис. 23. Схема двойного каскада с непосредственной связью по постоянному току.

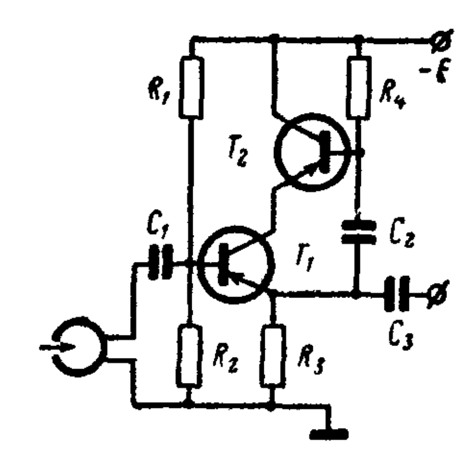


Рис 24. Схема транзисторного входного каскада для подключения высокоомной воспроизводящей головки.

Выше указывалось, что малые шумы транзистора возможны при малых коллекторных токах ($I_К=0{,}1 \div 0{,}3$ *ма*). Работа при пониженных токах требует хорошей термостабилизации. В связи с этим в последнее время получили распространение двойные каскады с непосредственной связью по постоянному току (рис. 23). В них стабилизация режима первого транзистора T_1 достигнута благодаря транзистору T_2. Предположим, что из-за повышения температуры увели-

[1] Подробнее о каскодной схеме можно прочесть в книге А. П. Ложникова и Е. К. Сонина, Каскодные усилители, 1961, МРБ, вып. 423.

чился ток через транзистор T_1. Тогда напряжение на базе транзистора T_2 и ток через него уменьшаются. Это приведет к снижению напряжения на делителе в цепи эмиттера, а следовательно, и напряжения на базе транзистора T_1, поэтому режим последнего восстановится. Применение двух взаимосвязанных транзисторов дает возможность полностью использовать их шумовые свойства, так как позволяет охватить первые каскады частотно-зависимыми обратными связями и хорошо согласовать головку со входом схемы (см. также рис. 40).

В тех случаях, когда конструктор располагает высокоомной головкой от серийного лампового магнитофона, необходимо применять на входе транзисторного усилителя специальный согласующий каскад. Таким каскадом может служить либо обычный эмиттерный повторитель, либо каскад с высоким входным сопротивлением, схема которого изображена на рис. 24. Следует, однако, отметить, что эти схемы имеют более высокий уровень шумов и требуют поэтому подбора транзисторов. Кроме того, они хуже по температурной стабильности, чем схемы, приведенные на рис. 21 и 23.

7. ЧАСТОТНАЯ КОРРЕКЦИЯ

Вся компенсация частотных искажений, возникающих в процессе магнитной записи и воспроизведения, распределяется в современных магнитофонах определенным путем между каналом записи и каналом воспроизведения. При этом для обеспечения возможности обмена фонограммами, записанными при одной скорости, но на разных аппаратах, строго нормируется частотная характеристика канала воспроизведения, а характеристика канала записи подбирается практически такой, чтобы при измерении в сквозном канале или канале записи-воспроизведения равномерность характеристики соответствовала требованиям ГОСТ.

Остановимся на способе нормирования частотной характеристики канала воспроизведения и ее форме. Канал воспроизведения состоит из воспроизводящей головки и усилителя воспроизведения. В отличие от частотной характеристики усилителя характеристика головки определяется значительно труднее, поэтому для нормирования вводят первоначально понятие идеальной воспроизводящей головки. Электродвижущая сила, вырабатываемая ею при воспроизведении записи с постоянным остаточным магнитным потоком, прямо пропорциональна частоте, и частотная характеристика идеальной головки представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат с крутизной в 6 *дб* на октаву[1].

Далее вводят понятие стандартного канала воспроизведения, под которым понимают канал, составленный из идеальной воспроизводящей головки и усилителя со стандартизованной частотной характеристикой, различной для разных скоростей. На рис. 25 приведены частотные характеристики для скоростей 762, 381, 190, 95 и 47,6 *мм/сек*. Как видно, для скоростей 762 и 381 *мм/сек* стандартизированы одинаковые частотные характеристики. Важно отметить, что под коэффициентом усиления K в этих характеристиках понимается не как обычно отношение $U_{вых}/U_{вх}$, а отношение $U_{вых}/E_{вх}$, где $E_{вх}$ — э. д. с., действующая во входной цепи; при снятии частотной характеристики

[1] Октавой называется частотный диапазон с соотношением крайних частот 2 : 1, например от 100 до 200 *гц* или от 1 200 до 2 400 *гц* и т. д.

э. д. с нужно вводить в обмотку головки при помощи индуктивно связанной с ней катушки или последовательно включенного с головкой делителя напряжения[1].

Реальный канал воспроизведения, составленный из усилителя с характеристикой согласно рис. 25 и обычной воспроизводящей головки, будет, очевидно, отличаться по своей частотной характеристике от стандартного канала ровно настолько, насколько характеристика реальной головки отличается от идеальной. Если каким-либо образом узнать эту разницу, то ее можно компенсировать в усилителе, отклонившись на соответствующую величину от стандартных характеристик, приведенных на рис. 25. Такой канал воспроизведения не отличался бы по своей частотной характеристике от стандартного, и задача нормирования была бы решена.

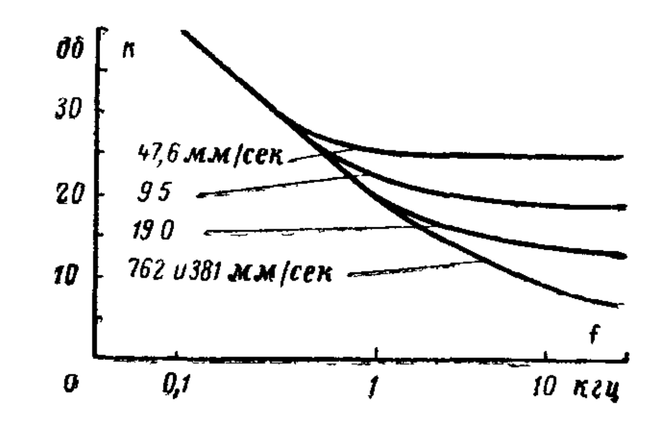


Рис. 25. Стандартизованные частотные характеристики усилителя воспроизведения при идеальной воспроизводящей головке для четырех скоростей ленты

Различие между характеристиками какой-либо реальной воспроизводящей головки и идеальной можно рассчитать. Однако этот способ труден для повседневного применения. Поэтому поступают иначе. Создают в лаборатории специальную воспроизводящую головку с частотной характеристикой, возможно более близкой к идеальной. Для этого она должна иметь малый рабочий зазор (в несколько раз меньше минимальной длины волны записи), а размер ее полюсов, т. е. тех участков сердечника, с которыми соприкасается лента, должен быть больше максимальной длины волны записи в пределах рассматриваемого рабочего диапазона. Такая головка имеет диаметр 25—30 *мм* и рабочий зазор около 3 *мк*. Потери энергии в сердечнике головки должны быть сведены к минимуму выбором надлежащего материала и ламелированием. Подобную головку допустимо считать идеальной и, подключив к ней усилитель со стандартизованной характеристикой, можно получить стандартный канал воспроизведения. С помощью этого канала записывают серии частот с таким уровнем, чтобы выходное напряжение на всех частотах оставалось неизменным. Полученную ленту называют измерительной сигналограммой или измерительной лентой (ЛИР). Очевидно, что если воспроизвести запись измерительной ленты через другой канал воспроизведения и получить в нем то же постоянство выходного напряжения, то такой канал также будет стандартным по своей частотной характеристике.

Измерительная лента позволяет, таким образом, практически найти требуемые отклонения в характеристике усилителя от характеристик, приведенных на рис. 25, необходимость которых вызывается отличием используемой в канале головки от идеальной.

Разрабатывая усилитель, надо заранее учитывать, что характеристика его должна отличаться от тех, которые показаны на рис. 25.

[1] См. В. Г. Корольков, Испытания магнитофонов, «Энергия», МРБ, вып. 584, 1965.

Отличие проявляется в двух зонах: на высоких частотах из-за необходимости компенсировать щелевые и частотные потери реальной головки она должна идти выше стандартизованной. Если размеры рабочих зазоров выбирать так, как это было рекомендовано в предыдущем параграфе с точки зрения лучшего перекрытия высокочастотных шумов, то необходимый подъем на частоте 15 000 *гц* составляет 4—7 *дб*. К этому иногда добавляют запас коррекции 3—5 *дб* на случай ухудшения характеристики головки по мере ее износа.

На низких частотах из-за конечных размеров полюсов головки и действия окружающего ее экрана наблюдается увеличение э. д. с., и поэтому характеристика усилителя должна идти ниже стандартизованной, отклоняясь от нее на частоте 30 *гц* от —5 *дб* (на скорости 762 *мм/сек*) до —1 *дб* (на скорости 95 *мм/сек*).

С учетом этих отклонений в основу при разработке принимаются характеристики, приведенные на рис. 25. Их нет необходимости запоминать. Предложен простой и удобный способ описания этих характеристик, основанный на том, что графически они сходны с характеристикой изменения полного сопротивления электрической цепи, составленной из последовательно включенных конденсатора и резистора.

Нетрудно показать, что для такой цепи

$$Z = \sqrt{\tau^2 + 25\cdot 10^9 \frac{1}{f^2}}\,, \qquad (13)$$

где $\tau = RC$ — постоянная времени цепи, *мксек*;
f — частота, *гц*.

Можно подобрать значение τ так, что форма частотной характеристики Z совпадет со стандартизированной характеристикой усилителя воспроизведения. Так, например, для скоростей 762 и 381 *мм/сек* постоянная времени коррекции $\tau = 35$ *мксек*, для 190 *мм/сек* $\tau = 70$ *мксек* для 95 *мм/сек* $\tau = 140$ *мксек* и для 47,6 *мм/сек* $\tau = 280$ *мксек**.

Достаточно знать эти цифры, чтобы рассчитать ход любой из характеристик. Подставив в формулу (13) соответствующую скорости постоянную времени коррекции и ряд значений f (включая $f = 1\,000$ *гц*), нетрудно для каждой частоты рассчитать отношения $20 \lg \frac{Z_f}{Z_{1000}}$ и по найденным величинам построить характеристику. Как это будет видно далее, такой способ определения стандартной характеристики усилителя воспроизведения нельзя рассматривать как чисто формальный, так как он может быть логически связан с некоторыми схемами коррекции, применяемыми в усилителях воспроизведения. Отметим кстати, что частота $f_к$ (в герцах), начиная с которой стандартная характеристика усилителя приобретает вид прямой, параллельной оси абсцисс, связана с τ (в микросекундах) простым соотношением $f_к = 10^6/2\tau$, которым удобно пользоваться при расчетах.

Вопрос о том, чем объясняется выбор существующих стандартных характеристик усилителя воспроизведения, не входит в содержание данной книги. Можно лишь сказать, что этот выбор сделан, исходя из частотной характеристики остаточного магнитного потока фонограммы, которую можно получить при существующих лентах и разумной величине частотных предыскажений в усилителе записи.

* До 1965 г. для скоростей 190 и 95 *мм/сек* использовались другие постоянные времени — 100 и 200 *мксек* соответственно.

8. СХЕМЫ ЧАСТОТНОЙ КОРРЕКЦИИ

Рассмотрим ряд схем, позволяющих получить требуемую частотную характеристику в усилителе воспроизведения. Начнем с усилителей на электронных лампах. Первая из схем (рис. 26) с делителем типа RC рассчитана на работу с высокоомной воспроизводящей головкой. Между первым и вторым каскадами включен делитель, составленный из резисторов $RR_к$ и конденсатора $C_к$. Если сопротивление R во всем диапазоне частот остается намного больше, чем $R_к$ и $1/\omega C_к$, то ток I в цепи делителя не меняется с частотой. Напряжение, передаваемое на сетку лампы второго каскада, при этом условии пропорционально полному сопротивлению цепочки $R_к C_к$. Выбрав постоянную времени этой цепочки, равной постоянной времени, нормализованной для данной рабочей скорости ленты в качестве параметра частотной характеристики усилителя воспроизведения, автоматически получаем нужную характеристику.

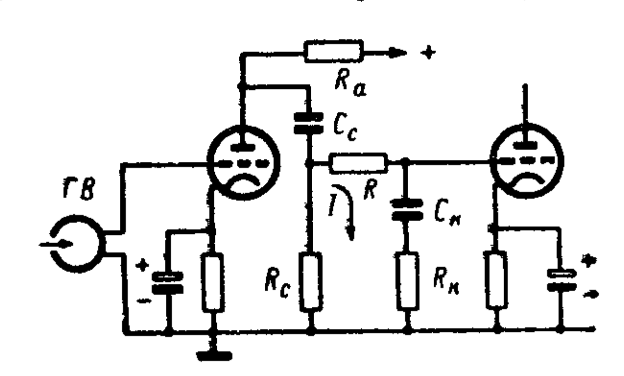


Рис. 26 Схема частотной коррекции с RC делителем.

Ориентировочно схему рассчитывают следующим образом. Сопротивление утечки сетки R_c выбирают равным $4R_a$. Далее, исходя из того, что для устойчивой работы второго каскада необходимо, чтобы сумма R_c и R не превосходила 2 *Мом*, находят величину R. Если внутреннее сопротивление лампы, стоящей по схеме перед делителем, велико (например, при пентоде), то резистор R можно не включать, так как им будет служить эквивалентное выходное сопротивление каскада $\frac{R_i R_a}{R_i + R_a}$.

Из условия $R = \frac{3 \div 5}{\omega_н C_к}$ определяют $C_к$ и, наконец, $R_к$ так как $R_к C_к = \tau$ коррекции. Емкость разделительного конденсатора C_c выбирается, исходя из условия $\frac{1}{\omega_н C_c} = \frac{R_c}{3}$.

Схема отличается большой простотой и стабильностью работы. Некоторый недостаток ее заключается в том, что полезный сигнал ослабляется делителем настолько, что величина его на сетке лампы второго каскада на средних частотах может быть даже меньше, чем на сетке лампы первого каскада. В результате происходит небольшое увеличение высокочастотных шумов усилителя из-за шумов второго каскада. Располагать такой RC-делитель между вторым и третьим каскадами не следует из-за увеличения комбинационных искажений (см. § 10).

Как было уже установлеио, частотная характеристика усилителя воспроизведения должна отличаться от стандартной некоторым завалом на низкой и дополнительным подъемом на высокой частоте. Завал низких частот можно получить, уменьшая C_c или R. Поэтому значения их могут несколько отличаться от расчетных и уточняются во время проверки канала воспроизведения по измерительной ленте Что касается подъема на высокой частоте, то его можно получить, видоизменив схему делителя RC так, как это показано на рис. 27. Емкость конденсатора C в обоих вариантах выбирается практически и примерно равна 60—80 *пф*. Варианты *а* и *б* отличаются лишь конструктивно (подстроечный конденсатор или переменный резистор). В обоих вариантах подъем характеристики благодаря действию конденсатора C не превышает 4—5 *дб*.

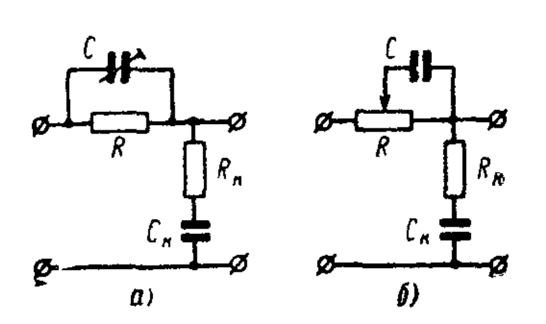


Рис 27. Схемы RC-делителей с подъемом частотной характеристнки на высоких частотах.

При малых скоростях движеиия ленты или при головках со слишком широким рабочим зазором этот подъем оказывается недостаточным, чтобы компенсировать частотные и щелевые потери. Тогда применяют схему с LCR-делителем, показанную на рис. 28. Этот делитель включается так же, как и RC-делитель, между первым и вторым каскадами усилнтеля воспроизведения.

Контур LC настраивают на верхнюю рабочую частоту илн иногда на несколько более высокую частоту. Из-за увеличения Z между

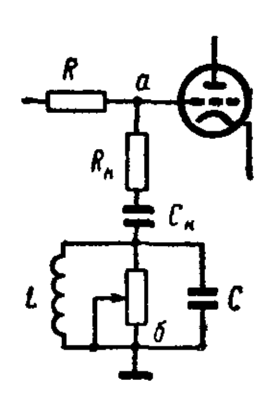


Рис 28 Схема частотной коррекции с LCR-делителем.



Рис 29. Частотная характеристика усилителя воспроизведения с LCR-делителем при различных положениях регулятора коррекции

сеткой и катодом лампы, включениой на выход делителя, по мере приближения частоты к резонансиой частоте контура достигается довольно значительный подъем частотной характеристики. Величину подъема регулируют переменным резистором, шунтирующим контур. На рис. 29 приведены частотные характеристики усилителя воспроизведения в разных положениях этого регулятора коррекции.

Все данные LCR-делителя рассчитывают для соответственных деталей так же, как и для RC-делителя. Что касается выбора элементов контура LC, то, кроме того, что они должны быть настроены

на определенную частоту, следует иметь в виду, что чем больше отношение L/C, тем значительнее получается подъем характеристики и тем с более низких частот он начинается. Последнее обычно нежелательно. Поэтому L и C контура следует выбирать экспериментально под ту головку воспроизведения, с которой будет работать усилитель.

В настоящее время большое распространение получили двух-, трех- и даже четырехскоростные магнитофоны, которые могут работать при разных скоростях движения ленты. При переходе с одной скорости на другую следует одновременно изменять и частотную характеристику усилителя воспроизведеиия. Схемы коррекции с RC- и LCR-делителями позволяют сравнительно просто осуществить такое изменение. На рис. 30 показана схема, рассчитанная иа работу при трех скоростях леиты (381, 190 и 95 *мм/сек*). Включать цепи коррекции можно при помощи реле или галетного переключателя

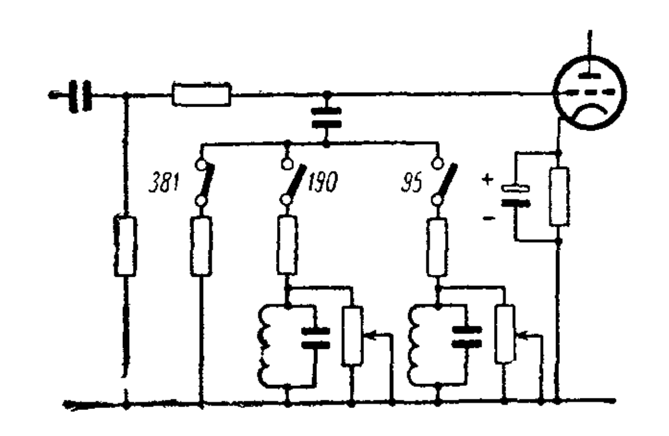


Рис 30. Схема коррекции в усилителе воспроизведения трехскоростного магнитофона.

Схемы с RC- и LCR-делителями иногда видоизменяют и собирают их с элементами коррекции в анодной цепи лампы первого каскада (рис. 31). Элементы схемы на рис. 31, имеющие сходные назначения с элементами схемы на рис. 28 и 26, имеют и аналогичные названия. Схема с коррекцией в анодной цепи менее удобна для переключения в случае многоскоростного магнитофона Кроме того, она работает хорошо только при большом внутреннем сопротивлении лампы, например при пентоде.

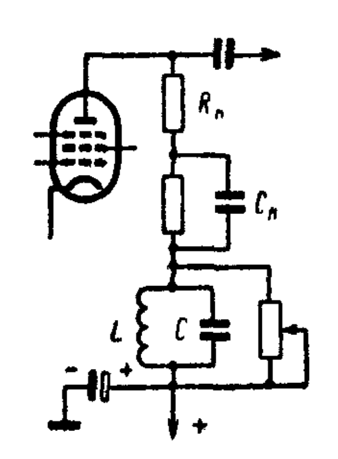


Рис 31 Схема коррекции в анодной цепи.

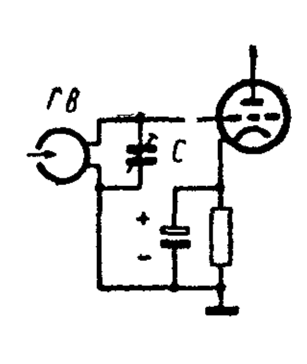


Рис. 32. Схема коррекции высокнх частот во входной цепи усилителя воспроизведения.

Во всех рассмотренных схемах для дополнительиого подъема характеристики на высокой частоте может использоваться резонанс во входной цепи усилителя, для чего эту цепь с помощью подстроечиого конденсатора C настраивают иа верхнюю рабочую частоту (рис. 32). Величина подъема тем больше, чем ниже верхияя рабочая частота, так как она определяется в основном потерями энергии в сердечнике головки, которые уменьшаются при поиижении частоты. Поэтому в магнитофонах с полосой частот до 5—6 *кгц* вполне возможно примеиять коррекцию резонансом во входной цепи как основное средство подъема характеристики на высокой частоте, не прибегая к LC контуру в межкаскадном делителе.

Переходим к схемам усилителей воспроизведения, в которых частотиая характеристика создается путем введения обратиой связи. Эти схемы также предиазначены для работы с высокоомной воспроизводящей головкой. Первая из них показана иа рис. 33, *а*. Величина обратной связи в этой схеме не остается постоянной. По мере увеличения частоты она усиливается, так как сопротивлеине конденса-

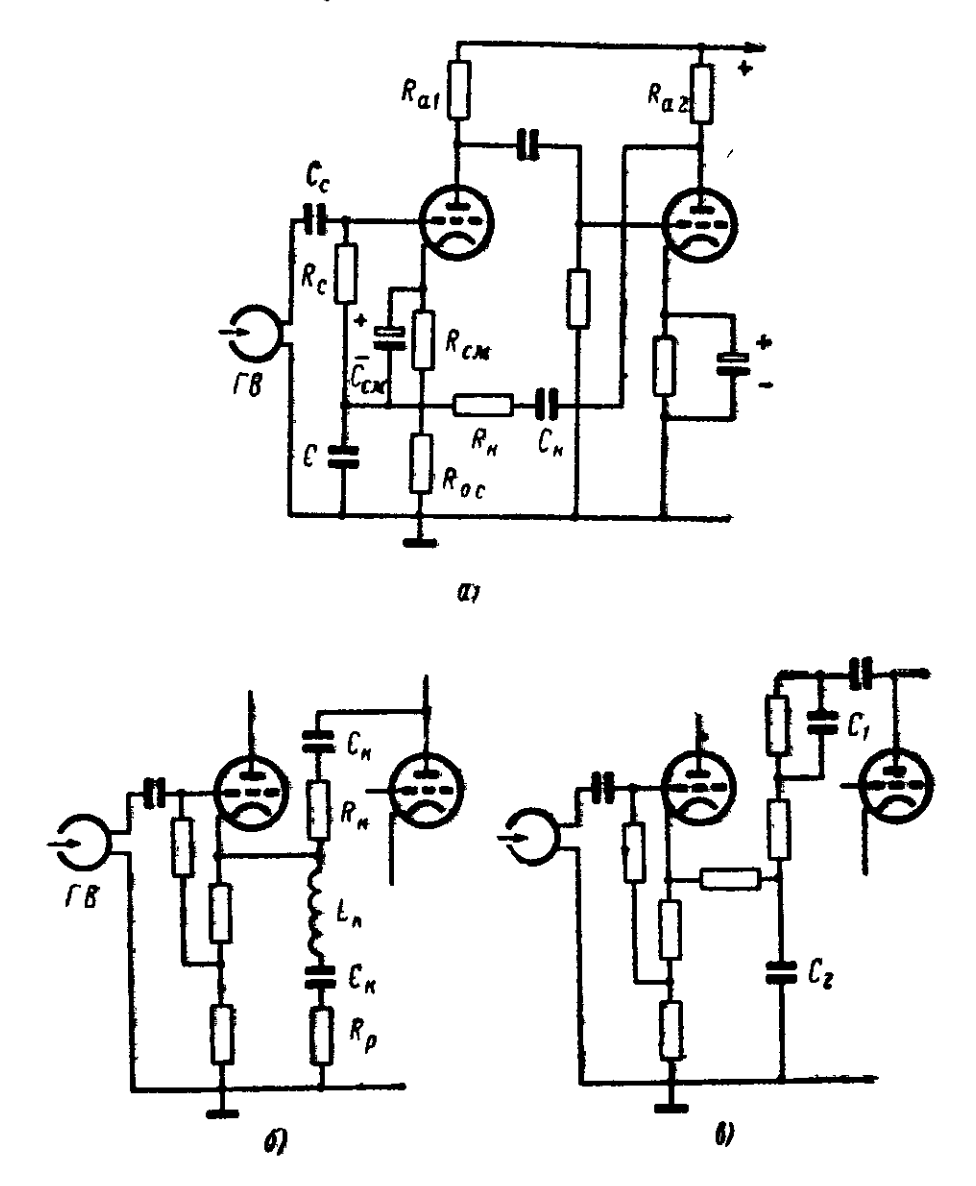


Рис. 33. Схемы коррекции с частотио-зависимой обратной связью.

тора $C_к$ становится меньше и коэффициент усиления соответственно понижается. Подбором величин $R_к$ и $C_к$ можно достичь характеристики, совпадающей по форме со стандартной характеристикой усилителя воспроизведения. Обычно сопротивление $R_к$ выбирают, исходя из того, чтобы на высоких частотах не сильно изменялась нагрузка второго каскада, составленная из параллельно включенных резисторов R_{a2} и $R_к$. Для этого достаточно выполнить условие, чтобы $R_к = (2 \div 3)R_{a2}$. Тогда нужную форму частотной характеристики подбирают конденсатором $C_к$. Сопротивление резистора $R_{о.с}$ должно быть намного меньше $R_к$, но не менее $\frac{R_к}{10 \div 15}$, так как иначе обрат-

ная связь окажется весьма слабой и получить нужный подъем характеристики в сторону низких частот не удается. Обычно $R_{о.с}$ выбирают равным нескольким килоомам. Если сопротивление резистора смещения получается той же величины, то их можно объединить. При этом из схемы исключают C_c, R_c, $C_{см}$ и $R_{см}$.

Требуемый, как обычно, подъем характеристики на высоких частотах можно получить несколькими путями. Можно, например, параллельно резистору обратной связи $R_{о.с}$ подключить кондеисатор C (рис. 33, *а*). Благодаря его действию обратная связь на высокой частоте ослабевает и коэффициент усиления увеличивается. Для более значительных подъемов характеристики можно применять колебательный контур, включенный параллельно тому же резистору (рис. 33, *б*) и настроенный на верхнюю рабочую частоту. Наконец, может быть применена схема с RC-фильтром в цепи обратной связи (рис. 33, *в*). В этой схеме модуль и фаза обратной связи изменяются с частотой. Подъем характеристики на низких частотах получается благодаря действию конденсатора C_1, а подъем на высоких — из-за действия конденсатора C_2.

Преимущества и недостатки схем усилителей воспроизведения с коррекцией в цепи обратной связи связаны с принципиальными свойствами данных схем. Например, большое преимущество этих схем заключается в ослаблении нелинейных искажений, особенно на средних частотах, где обратная связь достаточно сильна. Благодаря действию обратной связи меньше изменяются свойства усилителя при смене ламп, понижается выходное сопротивление усилителя. Однако обратная связь приводит и к возникновению недостатков. Пульсации накального напряжения, например, сказываются в этих схемах на шумах усилителя значительно сильнее, так как в катоде лампы первого каскада включен незашунтированный конденсатором большой емкости резистор обратной связи. Пульсации анодного напряжения также сказываются сильнее вследствие того, что через цепь обратной связи они попадают в сеточную цепь лампы первого каскада и усиливаются им. Наконец, имеется некоторая опасность самовозбуждения усилителя за пределами рабочего диапазона частот, где из-за действия реактивных сопротивлений обратная связь может иногда стать положительной. Особенно это относится к схеме, показанной на рис. 33, *в*. Если усилитель воспроизведения содержит более двух каскадов, например три, то схемы, приведенные на рис. 33, можно применять в первом, втором или третьем каскадах. В последнем случае не столь существенно возрастание шумов усилителя, свойственное этим схемам.

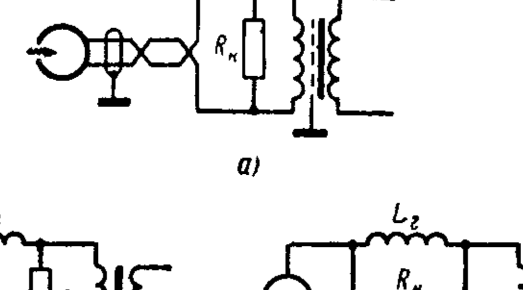
Переходим к схемам коррекции, применяемым при работе усилителя с низкоомной воспроизводящей головкой.

Такие головки, как известно, подключают к первому каскаду через повышающий трансформатор. Если выбрать коэффициент трансформации n не более 5, то низкоомная головка и трансформатор будут аналогичны по свойствам высокоомной головке с индуктивностью $n^2L_г$ и можно использовать схемы коррекции, рассмотренные ранее. Однако чаще всего коэффициент трансформации выбирают значительно больше (от $n=15$ до $n=50$), с тем чтобы облегчить борьбу с низкочастотными шумами. В этом случае в системе головка — трансформатор на средних частотах возникает довольно сильный резонанс напряжений между собственной емкостью вторичной обмотки трансформатора и пересчитаиной во вторичную обмотку

индуктивностью головки, которая достигает весьма значительной величины

Искажения частотной характеристики из-за резонанса очень велики, и их практически невозможно компенсировать в последующих цепях усилителя. Для борьбы с резонансом применяют шунтирование первичной или вторичной обмоток трансформатора резистором (рис. 34, *а*). Эквивалентная схема, соответствующая такому включению головки, показана на рис. 34, *б*. Она может быть легко преобразована в схему рис. 34, *в*, где

$$E_{\text{г}}' = E_{\text{г}} \frac{R_{\text{к}}}{\sqrt{R_{\text{к}}^2 + \omega^2 L_{\text{г}}^2}}. \qquad (14)$$



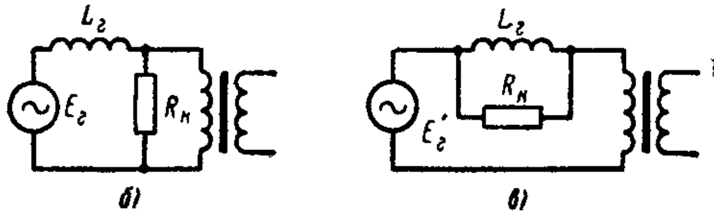


Рис. 34. Принципиальная (*а*) и эквивалентные (*б* и *в*) схемы входа усилителя воспроизведения с шунтированным трансформатором.

Если индуктивность первичной обмотки трансформатора, по крайней мере, в 3 раза больше, чем $L_{\text{г}}$, и, кроме того, $R_{\text{к}} \ll \omega L_{\text{г}}$, то напряжение на вторичной обмотке трансформатора, т. е. на сетке лампы первого каскада будет равно:

$$U_2 = E_{\text{г}} \frac{R_{\text{к}}}{\omega L_{\text{г}}} n. \qquad (15)$$

Коэффициент передачи входной цепи

$$K = \frac{U_2}{E_{\text{г}}} = \frac{R_{\text{к}} n}{\omega L_{\text{г}}} \qquad (16)$$

обратно пропорционален частоте. Частотная характеристика коэффициента передачи получается близкой к требуемой частотной характеристике усилителя воспроизведения, и на долю последующих цепей усилителя остается лишь подъем характеристики на высоких частотах.

Весь необходимый подъем в сторону низких частот происходит во входной цепи благодаря шунтированию головки резистором $R_{\text{к}}$. Однако это происходит лишь при условии, если $R_{\text{к}} \ll \omega L_{\text{г}}$. Для его выполнения на самой низкой рабочей частоте приходится применять очень малое сопротивление резистора $R_{\text{к}}$, что, как видно из формулы (15), ослабляет полезный сигнал. Поэтому практически выбирают $\frac{R_{\text{к}}}{\omega_{\text{н}} L_{\text{г}}} = 5 \div 8$, и тогда характеристика на низких частотах не достигает требуемого подъема

Поскольку во входной цепи происходит лишь частичное формирование необходимой частотной характеристики усилителя, в последующих цепях необходимо осуществлять подъем как низких, так и высоких частот. Это может быть получено применением схем с *LCR*-делителем или схем с коррекцией в цепи обратной связи, рассмотренных ранее, с той лишь разницей, что величины корректирующих элементов выбирают в зависимости от частотных свойств входного трансформатора и отношения $R_{\text{к}}/\omega_{\text{н}} L_{\text{г}}$.

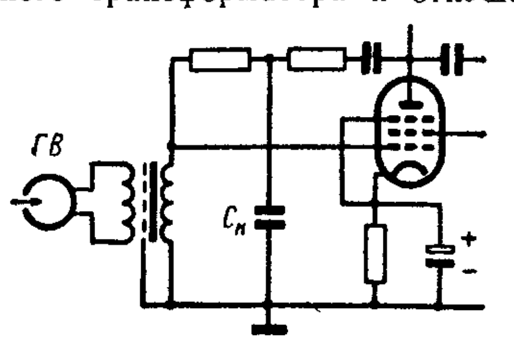


Рис. 35. Схема коррекции с обратной связью во входной цепи усилителя воспроизведения

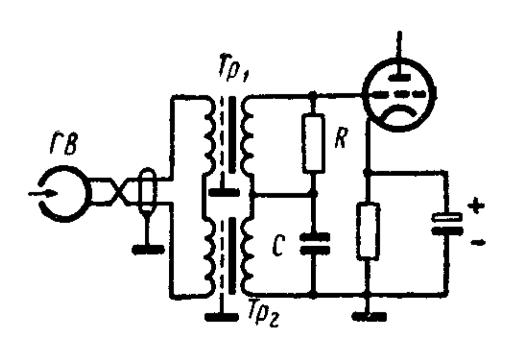


Рис. 36. Схема с двухполосным входным трансформатором

Следующая схема коррекции показана на рис. 35. В ней коррекция также происходит в цепи обратной связи, но только в пределах первого каскада. Сопротивлением обратной связи служит комплексное, обычно индуктивное, выходное сопротивление трансформатора, поэтому обратная связь уменьшается, а усиление каскада увеличивается обратно пропорционально частоте так, как это и требуется для усилителя воспроизведения. Подъем на высоких частотах достигается путем ослабления обратной связи на этих частотах конденсатором $C_{\text{к}}$. Иногда для большей величины этого подъема или придания ему желательной крутизны вместо конденсатора $C_{\text{к}}$ включают последовательный колебательный контур, настроенный на верхнюю рабочую частоту.

Данная схема может быть применена только с пентодом в первом каскаде, так как для получения нужной коррекции (20—23 *дб* на низких частотах) необходим коэффициент усиления лампы не менее 100. Преимущество этой схемы заключается в том, что резонансные явления в цепи головка — входной трансформатор здесь сглаживаются без применения шунта в трансформаторе благодаря действию обратной связи. На резонансной частоте входной сигнал повышается, но увеличивается и обратная связь, так как увеличивается выходное сопротивление трансформатора. В результате эти явления компенсируют друг друга.

В заключение рассмотрим еще одну схему, использующую так называемый двухполосный входной трансформатор, состоящий из двух соединенных последовательно трансформаторов $Тр_1$ и $Тр_2$ (рис. 36) *.

* Эта схема предложена в 1951 г. Е. Г. Ефимовым.

Трансформатор Tp_1 имеет коэффициент трансформации 1 : 10—1 : 15, а трансформатор Tp_2 — около 1 : 100. Принцип работы этого входного устройства заключается в том, что оба трансформатора работают раздельно (на низких частотах Tp_2, а на высоких Tp_1). Благодаря большому коэффициенту трансформации трансформатора Tp_2 и действию конденсатора C полоса пропускания его достигает лишь 400—600 *гц*. На более высоких частотах он практически уже не создает напряжения на вторичной обмотке и не участвует в работе. Входное сопротивление трансформатора Tp_2 обусловливается пересчитанной в первичную обмотку емкостью конденсатора C и становится очень малым на частотах выше его рабочего диапазона. Поэ-

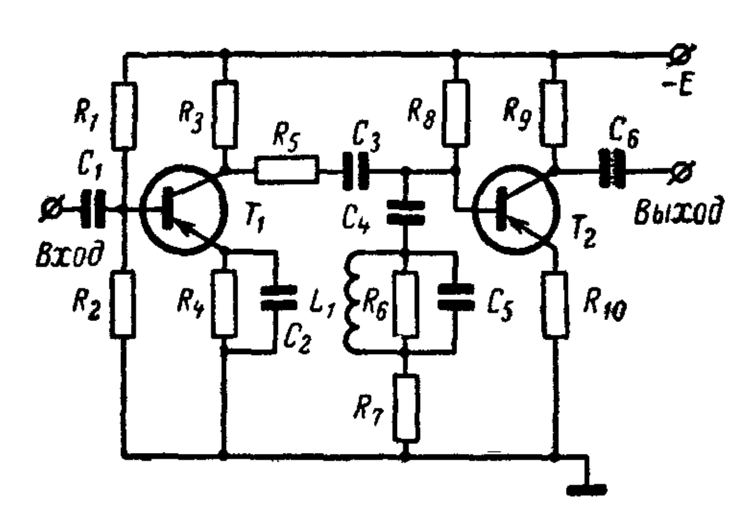


Рис. 37 Схема частотной коррекции с частотно-зависимым делителем напряжения.

тому на этих частотах все напряжение, развиваемое головкой, оказывается приложенным лишь к трансформатору Tp_1, который работает вплоть до самых высоких частот.

Благодаря разделению функций передачи низких и высоких звуковых частот между двумя трансформаторами удается получить хорошее перекрытие как низкочастотных, так и высокочастотных помех. Кроме того, выбором соотношения между коэффициентами трансформации обоих трансформаторов, а также величин R и C можно придать частотной характеристике напряжения на сетке лампы первого каскада форму, близкую к требуемой для усилителя воспроизведения. Тогда коррекция в последующих цепях усилителя получается весьма простой.

Двухполосный входной трансформатор применяют во многих отечественных студийных магнитофонах. К его недостаткам следует отнести конструктивную сложность и склонность к микрофонному эффекту.

Переходим к схемам частотной коррекции в усилителях воспроизведения на транзисторах. Как и в ламповых схемах здесь используют два варианта схем: с частотно-зависимым делителем напряжения и с частотно-зависимой обратной связью.

Схема с частотно-зависимым делителем напряжения изображена на рис. 37. Напряжение сигнала, снимаемого с коллектора транзистора T_1, поступает на делитель, образуемый элементами R_5, C_3, R_7, L_1, C_4, C_5, R_6.

Контур L_1C_5 настраивают на высшую частоту рабочего диапазона, резистором R_6 регулируют величину коррекции и форму частотной характеристики на высоких частотах. Для нормальной работы корректирующей цепи должно выполняться условие $R_{вх} \gg \rho$, где ρ — характеристическое сопротивление контура L_1C_5, а $R_{вх}$ — входное сопротивление транзистора T_2. Для повышения $R_{вх}$ второй каскад охватывают последовательной обратной связью (резистор R_{10}) либо включают транзистор T_2 по схеме с заземленным коллектором.

Основной недостаток схемы на рис. 37 — невозможность получения подъема характеристики на низких частотах более 20 *дб* и нерациональное использование транзистора T_2. Кроме того, большое затухание в межкаскадном делителе приводит к необходимости увеличения усиления транзистора T_1, иначе уровень полезного сигнала на базе транзистора T_2 окажется столь низким, что собственные шумы транзистора T_2 станут соизмеримыми с шумами первых каскадов усилителя.

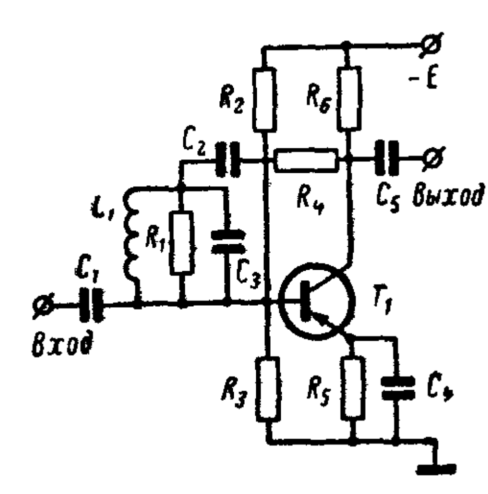


Рис. 38. Схема частотной коррекции с включением элементов коррекции в цепь параллельной обратной связи.

На рис. 38 изображена схема, в которой элементы коррекции включены в цепь параллельной обратной связи. С увеличением частоты сопротивление конденсатора C_2 уменьшается и обратная связь

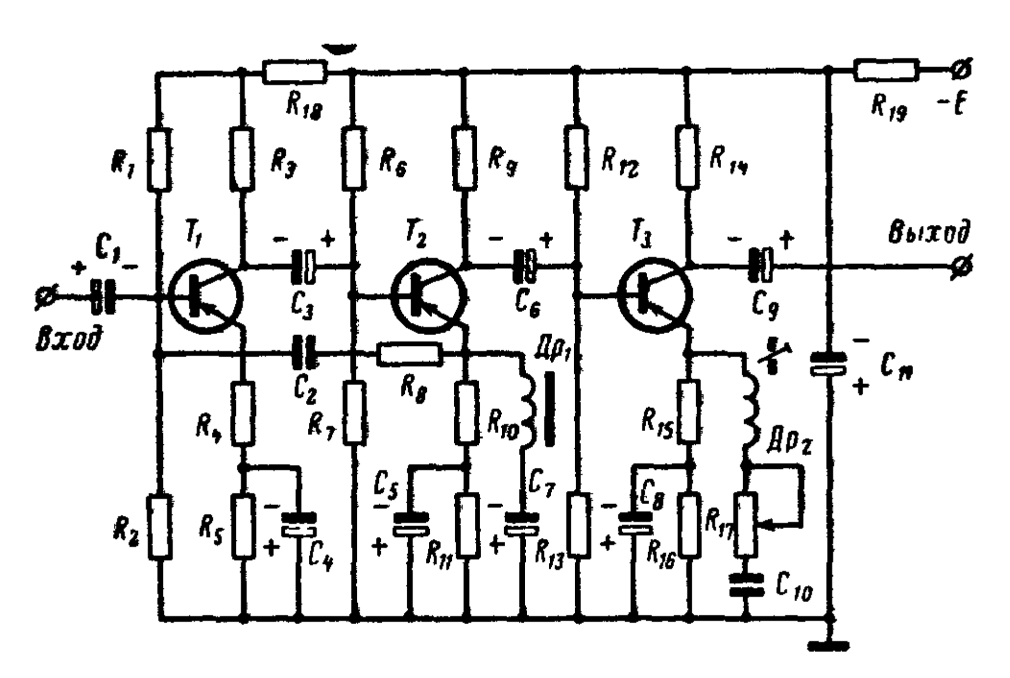


Рис. 39. Схема частотной коррекции с включением элементов коррекции в цепь обратной связи, охватывающей два каскада.

увеличивается, что обусловливает спад частотной характеристики усилителя. На частотах, близких к резонансу контура L_1C_3, обратная связь уменьшается, благодаря чему происходит необходимый подъем характеристики на высоких частотах. Глубина коррек-

ции ограничена усилением каскада и зависит от коэффициента усиления транзистора T_1.

Наиболее удобны схемы, в которых корректирующие звенья включены в цепь обратной связи, охватывающей два каскада. В этом случае коррекция может достигать 30 *дб*, т. е. практически может быть использована при любой стандартной скорости магнитной ленты

Примером этого служит схема, изображенная на рис. 39. Она применяется в высококачественных профессиональных магнитофонах, работающих при скорости ленты 38 *см/сек*

Подъем характеристики в сторону низких частот ($\tau = 35$ *мксек*) достигается благодаря действию обратной связи, поданной с эмиттера транзистора T_2 на базу транзистора T_1 через цепь C_2R_8. Некоторое отклонение формы частотной характеристики от стандартной, возникающее из-за потерь на низких частотах в переходных и блокирующих емкостях, компенсируется увеличением усиления на частоте резонанса последовательного контура $Др_1C_7$. Подъем на высоких частотах осуществляется в третьем каскаде при уменьшении последовательной обратной связи на частоте резонанса контура $Др_2C_{10}$

Рис 40. Схема частотной коррекции в цепи обратной связи по постоянному и по переменному току

В любительских конструкциях часто применяют схему, изображенную на рис. 40. В ней первые два каскада охвачены обратной связью как по постоянному, так и по переменному току. Обратная связь через резистор R_6 стабилизирует положение рабочих точек транзисторов T_1 и T_2. Цепь обратной связи по переменному току с коллектора T_2 на эмиттер T_1 через элементы C_3, R_5, L_1, C_2 создает необходимую частотную характеристику усилителя. Для более эффективного действия обратной связи транзистор T_3 включен по схеме эмиттерного повторителя.

Подобная схема хорошо работает при низких напряжениях питания. Ее характеристики мало зависят от смены транзисторов, а общее число используемых деталей сведено к минимуму.

9. ВЛИЯНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ ВОСПРОИЗВОДЯЩЕЙ ГОЛОВКИ НА ОТНОШЕНИЕ СИГНАЛ/ШУМ В ТРАНЗИСТОРНОМ УСИЛИТЕЛЕ

В предыдущих разделах настоящей главы уже упоминалось о специфическом подходе к выбору индуктивности $L_г$ головки воспроизведения в транзисторном усилителе. Указанная особенность заключается в том, что зависимость отношения сигнал/шум усилителя от

$L_г$ имеет максимум при некоторой оптимальной индуктивности. При большей или меньшей индуктивности относительная величина шума возрастает. Поэтому практически важно, с одной стороны, уметь рассчитать отношение сигнал/шум при заданной $L_г$, а с другой стороны, определить оптимальную $L_г$.

Выше указывалось, что для оценки шума транзистора используется коэффициент шума F и проводились его зависимости от частоты и условий работы усилительного каскада. Так как транзисторы имеют большой разброс по коэффициенту шума, то отношение сигнал/шум меняется в больших пределах от усилителя к усилителю. Точно рассчитать это отношение довольно сложно, так как оно зависит, кроме того, от шумов магнитной головки и входного трансформатора и от формы частотной характеристики усилителя

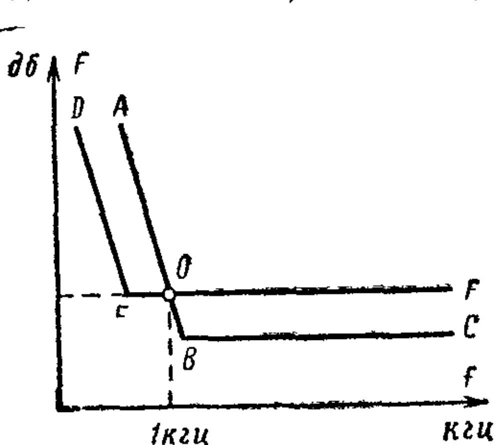


Рис 41 Частотные характеристики коэффициента шума транзистора.

Эту задачу можно значительно упростить, если учесть, что шумы головки и входного трансформатора намного меньше, чем шум транзистора, и ими можно пренебречь, и если, кроме того, ограничиться нахождением отношения сигнал/шум минимально возможного для серии из большого числа транзисторов данного типа. Величина этого отношения может быть вычислена, если э. д. с. головки определить на самой низкой частоте рабочего диапазона, а шум транзистора — при наиболее неблагоприятной частотной характеристике коэффициента шума.

Исходными данными для расчета будем полагать:

1) параметры транзистора, указываемые в паспорте, в частности значение F_0 при типовом режиме работы транзистора;

2) верхнюю и нижнюю ($f_в$ и $f_н$) границы рабочего диапазона частот усилителя;

3) τ— постоянную времени коррекции;

4) $M_в$ — необходимый подъем частотной характеристики на высоких частотах, компенсирующий частотные и щелевые потери в воспроизводящей головке.

Рассмотрим частотные характеристики коэффициента шума транзистора, приведенные на рис. 41. Частота перегиба характеристики f_1 носит название критической У транзисторов отечественного производства она находится в пределах от 500 *гц* до 5 *кгц*. Так как коэффициент шума измеряют на частоте 1 *кгц* в типовом режиме ($I_э = 0{,}5$ *ма*; $U_{к0} = -1{,}5$ *в*), то из характеристик на рис. 41 следует, что наибольший собственный шум будет иметь транзистор, у которого характеристика совпадает с ломаной AOF, а критическая частота f_1 равна частоте измерений, т. е. 1 *кгц*. В этом случае частотная зависимость коэффициента шума выразится:

для области $f < f_1 = 1$ *кгц* $F = \frac{(F_0 - 1) f_1}{f} + 1$;

для области $f \geqslant f_1 = 1$ *кгц* $F = F_0$.

Эти формулы справедливы при равенстве сопротивления источника сигнала оптимальному шумовому сопротивлению

$$Z_0 = \frac{7,2}{I_э}\sqrt{r_б\beta} - r_б,$$

где $I_э$ — ток эмиттера (*ма*).

В усилителе воспроизведения это условие не может выполняться, так как полное сопротивление воспроизводящей головки меняется приблизительно пропорционально частоте. Как показал опыт, увеличение шума от несогласованности сопротивлений можно аналитически учесть, внеся поправку в вышеприведенные формулы:

при $f < f_1$

$$F = \frac{(F_0 - 1)}{f} + \frac{Z_г}{Z_0};$$

при $f \geqslant f_1$

$$F = F_0 - 1 + \frac{Z_г}{Z_0},$$

где $Z_г = 2\pi f L_г$.

Следующая поправка связана с шунтированием магнитной головки входным сопротивлением $R_{вх}$ транзистора. С ростом частоты шунтирование растет, частотную характеристику приходится корректировать, что вызывает увеличение действия шумов транзистора в $(1+\gamma_{вх}^2 f^2)$ раз, где $\gamma_{вх} = 2\pi\tau_{вх}$, а $\tau_{вх} = L_г/R_{вх}$. Величина $R_{вх}$ зависит от включения транзистора. Без учета цепей температурной стабилизации для схемы с общим эммитером и последовательной отрицательной обратной связи $R_{вх}$ равно:

$$R_{вх} = r_б + (r_э + R_{о.с})(\beta + 1), \qquad (17)$$

где $R_{о.с}$ — сопротивление резистора в цепи эмиттера, создающее обратную связь по току (при отсутствии обратной связи $R_{ос.} = 0$).

Если в каскаде применена отрицательная обратная связь по напряжению, то входное сопротивление уменьшается (что, как правило, невыгодно из-за возрастания шунтирования) и может быть вычислено по формуле

$$R_{вх} \approx \frac{r_б + r_э(\beta + 1)}{1 + \beta\dfrac{R_к}{R_к + R_{о.о}}}, \qquad (18)$$

где $R_к$ — сопротивление резистора в цепи коллектора, с которого через резистор $R_{о.с}$ подается в цепь базы обратная связь.

При применении обратной связи в первом каскаде его усиление может снизиться настолько, что начнут сказываться шумы последующих каскадов. Их можно учесть при помощи следующей формулы:

$$F_{общ} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{N_1} + \frac{F_3 - 1}{N_1 N_2}, \qquad (19)$$

где F_1, F_2, F_3 — коэффициенты шума отдельных каскадов;
N_1, N_2 — коэффициенты усиления по мощности соответствующих каскадов.

Таким же способом следует подсчитывать эквивалентный коэффициент шума и при использовании в первом каскаде эмиттерного повторителя.

На рис 42 приведена типичная частотная характеристика усилителя воспроизведения. Подъем характеристики в сторону низких частот может быть выражен формулой

$$K = \sqrt{1 + \frac{1}{\gamma^2 f^2}},$$

где $\gamma = 2\pi\tau$, а τ — стандартизованная постоянная времени коррекции.

Высокочастотная коррекция, зависящая от качества головки, находится экспериментально и определяется максимальным подъемом $M_в = 20\ \lg K_в$. Для упрощения заменим плавный подъем и спуск характеристики на высших частотах скачкообразным в пределах полосы частот от f_2 до f_3, ограниченной ординатами $0,707\ K_в$.

Рис 42 Частотная характеристика усилителя воспроизведения.

Зная коэффициент шума F и коэффициент усиления $K(f)$ усилителя, можно найти мощность шума на выходе усилителя

$$P_ш = \int_{f_н}^{f_в} 4kTFK^2\frac{R_{вх}}{R_н}df$$

и найти эквивалентную э. д. с. шумов, действующую на входе усилителя:

$$E_ш = \sqrt{4kT R_{вх}\int_{f_н}^{f_в} F\left(\frac{K}{K_и}\right)^2 df}.$$

Величины F и K зависят от частоты. Поэтому $E_ш$ подсчитывают путем интегрирования в нескольких частотных областях. В результате вычислений и последующих упрощений получено следующее расчетное выражение:

$$E_ш = 8,1\cdot10^{-10}\tau f_н R_{вх}^{1/2}\left[10^3(F_0 - 1)\left(\frac{f_в}{f_1} + \frac{1}{80\tau^2 f_н^2}\right) + \right.$$

$$+ \frac{\tau_0 f_в^2}{2}\left(1 + \frac{\tau_{вх}^2}{\tau^2} + 20\,\tau_{вх}^2 f_в^2\right) + (f_3 - f_2)\times$$

$$\times \left(F_0 + \tau_0 f_в - 1 \right) \left(10^{M_в/10} - 1 \right) \left(1 + 40 \tau_{вх}^2 f_в^2 \right) \Bigg]^{1/2}, \qquad (20)$$

где $\tau_0 = L_г / Z_0$.

Первое слагаемое отражает в основном зависимость шума от ширины рабочего диапазона частот и влияния постоянной времени коррекции. Второе слагаемое отражает влияние изменения полного сопротивления головки с частотой и ее шунтирования. Третье слагаемое показывает влияние высокочастотной коррекции.

Наименьшая э. д. с. полезного сигнала E может быть рассчитана, если

$$E = E_{и.л} \frac{f_н}{f_{и.л}}, \qquad (21)$$

где $f_{и.л}$ — частота сигнала, записанного на измерительной ленте с максимальным уровнем;
$E_{и.л}$ — предварительно измеренная э. д. с. головки при воспроизведении записи сигнала — 400 *гц* с максимальным уровнем, содержащейся в измерительной ленте.

Отсюда отношение сигнал/шум усилителя равно:

$$D = 20 \lg \frac{E}{E_ш}.$$

При работе усилителя в широком интервале температур вычисленное отношение сигнал/шум следует уменьшить на 4—6 *дб*.

Пользуясь приведенными формулами, можно рассчитать отношение сигнал/шум для любого усилителя, т. е. при известных величинах $L_г$, F_0 и других величинах, входящих в формулы (20) и (21). Напомним, что принятая методика расчета такова, что фактически измеренное отношение сигнал/шум может быть или равно рассчитанному, или несколько лучше. Для иллюстрации рассмотрим несколько примеров расчета.

Пример 1. Задано: частотный диапазон усилителя от $f_н = 50$ *гц* до $f_в = 15$ *кгц*; $\tau = 35$ *мксек*. Используется низкоомная головка с индуктивностью $L_г = 3{,}5$ *мгн* и $E_{и.л} = 240$ *мкв*. Волновые и частотные потери в головке незначительны. Во входном каскаде применен транзистор П13Б, работающий в режиме $I_к = 0{,}5$ *ма*; $U_к = 1{,}5$ *в*, у которого $F_0 = 12$ *дб*; $\beta = 25$; $r_0 = 100$ *ом*. Входное сопротивление усилителя $R_{вх} = 1{,}5$ *ком*. На входе включен трансформатор с параметрами $n = 2{,}5$ и $\eta = 0{,}8$. Определяем постоянную времени входной цепи

$$\tau_{вх} = \frac{L_г n^2}{R_{вх}} = 14{,}6 \cdot 10^{-6} \text{ сек.}$$

Определяем оптимальное сопротивление источника сигнала для примененного транзистора

$$Z_0 = \frac{7{,}2}{I_э} \sqrt{r_б} \beta - r_б = 620 \text{ ом.}$$

Пользуясь формулой (20), определяем эквивалентную э. д. с.

$$E_ш = 0{,}435 \text{ мкв.}$$

Определяем наименьшую э. д. с. полезного сигнала в цепи базы транзистора

$$E_{вх} = E_{и.л} \frac{f_н}{f_{и.л}} n\eta = 60 \text{ мкв.}$$

Определяем отношение сигнал/шум усилителя

$$D = 20 \lg \frac{E_{вх}}{E_ш} = 43 \text{ дб.}$$

Как показали измерения, экспериментальные усилители, в которых устанавливались несколько лучшие (отобранные) транзисторы П13Б с коэффициентом шума 4—6 *дб*, имели отношение сигнал/шум 50—52 *дб*

Пример 2. Задано: частотный диапазон усилителя и τ те же, что и в предыдущем примере. Используется высокоомная головка с индуктивностью $L_г = 0{,}5$ *гн* и $E_{и.л} = 2{,}8$ *мв*. Волновые и частотные потери в головке незначительны. В первом и втором каскадах усилителя применены транзисторы, имеющие такие же данные, что и в предыдущем примере. Для увеличения входного сопротивления в первом каскаде применена последовательная обратная связь. Сопротивление резистора обратной связи $R_{о.с} = 300$ *ом*.

Определяем входное сопротивление первого каскада с учетом действия обратной связи

$$R_{вх} = r_в + (r_э + R_{о.с})(\beta + 1) \approx 10 \text{ ком}$$

при $r_э = 26/I_э = 52$ *ом*.

Находим коэффициент усиления по мощности первого каскада, считая, что его нагрузкой будет входное сопротивление второго каскада, равное 1,5 *ком*:

$$N \approx \beta^2 \frac{R_н}{R_{вх}} = 94.$$

Находим коэффициент шума с учетом второго каскада

$$F_{общ} = F_0 + \frac{F_0 - 1}{N} = 16{,}2.$$

Определяем постоянную времени входной цепи

$$\tau_{вх} = \frac{L_г}{R_{вх}} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ сек.}$$

По формуле (20) определяем эквивалентную э. д. с. шумов

$$E_ш = 1{,}34 \text{ мкв.}$$

Минимальная э. д. с. полезного сигнала

$$E_{вх} = E_{и.л} \frac{f_н}{f_{и.л}} = 350 \text{ мкв.}$$

Вычисляем отношение сигнал/шум

$$D = 20 \lg \frac{E_{вх}}{E_ш} = 48{,}4 \text{ дб.}$$

Пример 3. Задано: частотный диапазон усилителя от $f_н = 200$ *гц* до $f_в = 6$ *кгц*; $\tau = 140$ *мксек*; $L_г = 1$ *гн*; $E_{н.л} = 2$ *мв*. Во входном каскаде применен транзистор П13Б, работающий в режиме $I_э = 0{,}5$ *ма*; $U_К = 1{,}5$ *в*, имеющий $F_0 = 12$ *дб*; $\beta = 25$; $r_б = 100$ *ом*. Для увеличения входного сопротивления в первом каскаде применена последовательная обратная связь. Сопротивление резистора обратной связи $R_{о.с} = 500$ *ом*. Подъем частотной характеристики усилителя, компенсирующий потери в головке, $M_в = 6$ *дб*. Эквивалентная ширина полосы $f_3 - f_2 = 1\,000$ *гц*.

Определяем входное сопротивление транзистора без обратной связи

$$R_{вх} = r_б + r_э(\beta + 1) = 1\,450\ ом.$$

Определяем входное сопротивление транзистора с учетом обратной связи

$$R'_{вх} = r_б + (r_э + R_{о.с})(\beta + 1) = 14{,}7\ ком.$$

Находим коэффициент усиления по мощности первого каскада, считая, что нагрузкой для него будет служить каскад на транзисторе П13Б без обратной связи:

$$N = \beta^2 \frac{R_н}{R'_{вх}} = 64.$$

Находим общий коэффициент шума

$$F_{общ} = F_0 + \frac{F_0 - 1}{N} = 16{,}24.$$

Находим постоянную времени входной цепи

$$\tau_{вх} = \frac{L_г}{R'_{вх}} = 6{,}8 \cdot 10^{-5}\ сек.$$

Определяем оптимальное сопротивление источника сигнала для транзистора сначала без, а потом с учетом обратной связи:

$$Z_0 = \frac{7{,}2}{I_э}\sqrt{r_б \beta} - r_б = 600;$$

$$Z'_0 = \sqrt{Z_0^2 + R_{о.с}^2} = 780\ ом.$$

По формуле (20) определяем эквивалентную э. д. с. шумов

$$E_ш = 2{,}7\ мкв.$$

Минимальная э. д. с. полезного сигнала

$$E_{вх} = E_{н.л}\frac{f_н}{f_{и.л}} = 500\ мкв.$$

Вычисляем отношение сигнал/шум

$$D = 20 \lg \frac{E_{вх}}{E_ш} = 45{,}2\ дб.$$

В связи с тем, что расчет отношения сигнал/шум достаточно громоздок, он был проведен на электронно-вычислительной машине для нескольких скоростей ленты (v), ряда значений последовательной обратной связи в первом каскаде (о. с.) и различных величин частотной коррекции ($M_в$) на верхних частотах. Как было показано на рис. 42, принималось, что 0,707 $M_в$ соответствует граничным частотам зоны коррекции f_2 и f_3. Расчет был проведен для трех типов транзисторов: П5Д (табл. 1), П13Б (табл. 2) и П28 (табл 3). Указанные в таблицах индуктивности воспроизводящей головки $L_г$ — оптимальные, т. е. те, при которых расчет показал наибольшее отношение сигнал/шум (D). При включении головки через трансформатор под $L_г$ следует понимать индуктивность, пересчитанную во вторичную обмотку.

Пользуясь таблицами, можно выбрать головку и необходимую величину обратной связи во входном каскаде, а также определить входное сопротивление транзистора.

При разработке схемы магнитофона нередко возникает необходимость выбора по коэффициенту шума транзистора для первого каскада усилителя, исходя из характеристик магнитофона и воспроизводящей магнитной головки. Изложенная выше методика расчета отношения сигнал/шум позволяет решить эту обратную задачу. Для удобства вычислений формулу (20) следует несколько преобразовать. Обозначим

$$\left(\ln\frac{f_1}{f_н} + \frac{f_в}{f_1} + \frac{1}{\gamma^2 f_1^2} + \frac{1}{2\gamma^2 f_н^2}\right) = A;$$

$$\left(10^{M_в/10} - 1\right)(f_3 - f_2)\left(1 + \gamma_{вх}^2 f_в^2\right) = B;$$

$$\left(1 + \frac{\tau_{вх}^2}{\tau^2} + \frac{2}{\gamma^2 f_в^2}\ \ln\frac{f_в}{f_1} + \frac{\gamma_{вх}^2 f_0^2}{2}\right) = C,$$

тогда требуемое значение коэффициента шума входного транзистора будет равно:

$$F_0 - 1 = \frac{E_{и.л}^2}{4kTR_{вх}\gamma^2 f_{и.л}^2 10^{D/10}(Af_1 + B)} - \frac{\gamma_0 f_в\left(B + \frac{f_в C}{2}\right)}{f_1 A + B}. \qquad (20а)$$

На основании приведенных в таблицах данных можно сделать следующие выводы:

1. Последовательная обратная связь в первом каскаде не меняет отношения сигнал/шум в усилителе. Напомним, что обратная связь по напряжению снижает $R_{вх}$ и ее применение нежелательно.

2. Бóльшая величина обратной связи позволяет использовать воспроизводящую головку с бóльшей индуктивностью. Это иногда бывает выгодно, так как при бóльшей индуктивности и э д с головки легче бороться с наводками на схему.

3. С уменьшением скорости ленты оптимальная индуктивность воспроизводящей головки увеличивается.

Таблица 1

Зависимость отношения сигнал/шум (D) от режима работы входного каскада при оптимальной индуктивности воспроизводящей головки $L_г$. Транзистор П5Д

v, см/сек	τ, мксек	$f_з - f_2$, гц	$M_в$, дб	О.с=0 дб; $R_{вх}$=1,1 ком		О.с=6 дб; $R_{вх}$=2,21 ком		О.с=12 дб; $R_{вх}$=4,61 ком		О.с.=18 дб; $R_{вх}$=8,83 ком		О.с=24 дб; $R_{вх}$=13,2 ком	
				$L_г$, мгн	D, дб	$L_г$, мгн	D, дб	$L_г$, мгн	D, дб	$L_г$, мгн	D, дб	$L_г$, мгн	D, дб
38,1	35	6 000	0	20	63,0	50	63,0	100	62,91	200	62,95	300	62,95
			3	20	59,4	30	59,7	50	59,55	100	59,6	200	59,65
			6	10	56,85	20	56,85	50	56,85	100	56,9	100	56,62
		3 000	0	20	63,0	50	63,0	100	62,91	200	62,95	300	62,95
			3	20	60,85	30	60,9	80	60,8	100	60,7	200	60,95
			6	10	58,55	30	58,75	50	58,7	100	58,75	200	58,65
19,05	70	4 000	3	20	56,35	50	56,2	80	56,3	200	56,2	200	56,25
			6	20	53,55	30	53,65	80	53,55	100	53,5	200	53,7
			9	10	50,75	30	51,0	50	50,9	100	50,95	200	50,95
		2 000	3	20	57,45	50	57,5	100	57,45	200	57,5	300	57,5
			6	20	55,45	30	55,35	80	55,45	200	55,2	200	55,45
			9	20	53,1	30	53,25	80	53,1	100	53,1	200	53,25
9,5	140	4 000	3	20	51,45	50	51,5	100	51,45	200	51,5	300	51,5
			6	20	48,7	30	48,6	80	48,65	200	48,5	200	48,65
			9	20	45,85	30	45,9	80	45,8	100	45,75	200	45,9
		2 000	3	30	52,75	50	52,75	100	52,7	200	52,75	300	52,75
			6	20	50,6	50	50,55	80	50,52	200	50,55	300	50,55
			9	20	48,2	30	48,15	80	48,2	200	48,0	200	48,2
4,76	280	2 000	6	30	48,35	80	48,5	200	48,35	300	48,5	500	48,5
			9	30	45,75	80	45,75	100	45,5	300	45,8	500	45,7
			12	30	43,0	50	42,9	100	42,8	300	42,9	300	42,9
		1 000	6	50	50,3	100	50,3	200	50,3	300	50,25	500	50,3
			9	30	47,95	80	48,05	200	47,85	300	48,05	500	48,05
			12	30	45,55	80	45,5	200	45,2	300	45,55	500	45,45

Таблица 2

Зависимость отношения сигнал/шум (D) от режима работы входного каскада при оптимальной индуктивности воспроизводящей головки ($L_г$). Транзистор П13Б

v, см/сек	τ, мксек	$f_з - f_2$, гц	$M_в$, дб	О.с=0 дб; $R_{вх}$=1,2 ком		О.с=6 дб; $R_{вх}$=2,48 ком		О.с=12 дб; $R_{вх}$=4,97 ком		О.с=18 дб; $R_{вх}$=9,94 ком		О.с=24 дб; $R_{вх}$=13,7 ком	
				$L_г$, мгн	D, дб	$L_г$, мгн	D, дб	$L_г$, мгн	D, дб	$L_г$, мгн	D, дб	$L_г$, мгн	D, дб
38,1	35	6 000	0	20	61,26	50	61,26	100	61,25	200	61,25	300	61,25
			3	20	57,7	30	57,7	80	57,7	100	57,45	200	57,4
			6	10	54,9	30	54,9	50	54,9	100	54,9	100	54,9
		3 000	0	20	61,26	50	61,26	100	61,25	200	61,25	300	61,2
			3	20	58,9	50	58,9	80	59,05	200	58,9	200	58,9
			6	10	56,8	30	56,81	80	56,67	100	56,65	200	56,65
19,05	70	4 000	3	20	54,4	50	54,4	100	54,4	200	54,4	200	54,4
			6	20	51,7	30	51,5	80	51,7	200	51,5	200	51,5
			9	10	50,0	30	50,0	80	48,9	100	49,5	200	48,8
		2 000	3	20	55,5	50	55,55	100	55,55	200	55,55	300	55,5
			6	20	53,45	50	53,45	80	53,5	200	53,45	200	53,4
			9	20	51,15	30	51,15	80	51,25	200	51,0	200	51,0
9,5	140	4 000	3	20	49,55	50	49,55	100	49,55	200	49,55	300	49,55
			6	20	46,7	50	46,65	80	46,7	200	46,65	200	46,65
			9	20	43,9	30	43,75	80	43,9	200	43,75	200	43,75
		2 000	3	30	50,7	80	50,75	100	50,75	300	50,8	300	50,8
			6	20	48,6	50	48,6	100	48,6	200	48,6	300	48,6
			9	20	46,2	50	46,2	80	46,25	200	46,9	200	46,9
4,76	280	2 000	6	30	46,5	100	46,5	200	46,5	300	46,4	500	46,4
			9	30	43,8	80	43,8	200	43,65	300	43,8	500	43,8
			12	30	40,9	80	40,95	200	40,75	300	41,0	300	41,0
		1 000	6	50	48,4	100	48,35	200	48,35	500	48,3	500	48,3
			9	30	46,0	80	46,05	200	46,0	300	45,0	500	45,0
			12	30	43,5	80	43,55	200	43,4	300	43,55	500	43,55

Таблица 3

Зависимость отношения сигнал/шум (D) от режима работы входного каскада при оптимальной индуктивности воспроизводящей головки $L_г$. Транзистор П28

v, см/сек	τ, мксек	f_1-f_2, гц	$M_в$, дб	О.с=0 дб; $R_{вх}$=1,15 ком		О.с=6 дб; $R_{вх}$=2,3 ком		О.с=12 дб; $R_{вх}$=4,6 ком		О.с=18 дб; $R_{вх}$=9,2 ком		О.с=24 дб, $R_{вх}$=13,8 ком	
				$L_г$, мгн	D, дб	$L_г$, мгн	D, дб	$L_г$, мгн	D, дб	$L_г$, мгн	D, дб	$L_г$, мгн	D, дб
38,1	35	6 000	0	20	66,6	30	66,8	60	66,65	100	66,65	100	66,65
			3	10	64,05	20	64,0	50	64,05	100	64,07	100	63,85
			6	10	61,5	20	61,5	30	61,35	80	61,5	100	51,45
		3 000	0	20	66,6	30	66,8	50	66,65	100	66,65	200	66,8
			3	10	65,0	30	65,1	50	65,2	100	65,2	200	64,95
			6	10	63,25	20	63,25	50	63,2	80	63,25	100	63,1
19,05	70	4 000	3	20	60,55	30	60,7	50	60,6	100	60,06	200	60,7
			6	10	59,05	30	58,1	50	58,25	100	58,25	200	58,1
			9	10	55,6	20	55,6	50	55,6	100	55,6	100	55,4
		2 000	3	20	61,65	30	61,65	80	61,65	100	61,4	200	61,7
			6	20	59,65	30	59,9	50	59,85	100	59,85	200	59,9
			9	10	57,7	30	57,75	30	57,8	100	57,8	200	57,6
9,5	140	4 000	3	20	55,9	30	55,8	80	55,9	200	55,65	200	55,9
			6	20	53,1	30	53,3	50	53,2	100	53,2	200	53,25
			9	10	50,35	30	50,5	50	50,55	100	50,55	200	50,45
		2 000	3	20	57,05	50	56,9	80	57,05	200	56,9	200	56,95
			6	20	55,0	30	55,0	80	55,0	100	54,85	200	55,1
			9	20	52,6	30	52,8	50	52,75	100	52,75	200	52,8
4,76	280	2 000	6	30	53,1	50	53,0	100	53,0	200	53,05	300	53,0
			9	30	50,45	50	50,4	100	50,4	200	50,4	300	50,4
			12	30	47,6	50	47,65	100	47,65	200	47,65	300	47,65
		1 000	6	30	54,8	50	54,8	100	54,55	300	54,85	500	54,8
			9	30	52,65	50	52,55	100	52,55	300	52,57	300	52,55
			12	30	50,2	50	50,2	100	50,2	200	50,2	300	50,2

4. Оптимум зависимости $D=f(L_г)$ сравнительно слабо выражен. Так, например, изменение $L_г$ в 5 раз в районе $L_{г.опт}$ приводит к уменьшению D всего на 2÷3 дб.

10. ВЫХОДНОЙ КАСКАД УСИЛИТЕЛЯ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ

В завнсимости от выбранной блок-схемы магнитофона к усилителю воспроизведения могут предъявляться различные требования в отношении его выходных параметров. Как было рассмотрено в гл. 1, здесь возможны два случая: 1) работа усилителя воспроизведення на оконечный усилитель, входящий в состав магнитофона или расположенный вблизи него, например в радиоприемнике (напомним, что под оконечным усилителем подразумевается не обязательно один, а возможно и несколько каскадов усиления, заключенных в определенный элемент блок-схемы и выполняющих возложенные на этот элемент функции), и 2) работа усилителя на линию, соединяющую его с нагрузкой, сопротивлением в несколько сотен ом.

В первом случае выходное напряжение выбирают от 50 *мв* до 10 *в* (в завнсимости от необходнмого напряження раскачки оконечного усилнтеля). Сопротнвленнем нагрузкн служит входное сопротивление оконечного усилителя, обычно достаточно высокое. Выходной каскад усилнтеля в этом случае не имеет черт мощного усилнтеля, а представляет собой просто последний каскад усиления напряжения. Не имеет он и каких-либо специфнческих особенностей, связанных с применением в магнитофоне.

Поэтому сосредоточим вннмание на втором случае, когда усилитель воспронзведения работает на линию. Хотя выходная мощность и здесь не превышает 0,1 *вт*, но все-таки она больше, чем в первом случае, вследствие чего приходится принимать меры по уменьшению нелинейных искажений.

При работе на линию, кроме того, желательно применять симметричный выход, так как это уменьшает взаимные помехи, создаваемые различными низкочастотными источниками, а также полностью устраняет опасность короткого замыкания нз-за возможной несогласованности полярностей выхода усилителя воспроизведения и какого-либо потребителя, имеющего несимметричный вход.

Желательно также иметь возможно меньшее внутреннее (выходное) сопротивление (например, 20—50 *ом*) усилителя воспроизведения. Это требование объясняется, во-первых, тем, что при работе на линию к выходу усилителя подключается большая межпроводная емкость, вредное действие которой, выражающееся в завале частотной характеристики на высокнх частотах. будет тем меньше, чем ниже выходное сопротивление усилителя. Во-вторых, к выходу во время воспроизведения могут подсоединяться и отсоединяться различные потребители (оконечные усилители контрольных агрегатов, индикаторы уровня, разделнтельные усилители и т. п.). Такая коммутация сопровождается изменением выходного уровня, причем так как изменение происходит скачком, то прослушнвается щелчок. Явление это крайне нежелательно, и для ослабления щелчка необходимо иметь малое внутреннее сопротивление усилителя, так как чем оно меньше, тем меньше изменяется выходной уровень при всяком изменении нагрузки.

Учитывая эти три требования, рассмотрим несколько возможных схем выхода усилителя воспроизведения, работающего на линию.

Наиболее простой из них можно считать обычную схему с понижающим выходным трансформатором в анодной цепи лампы. Необычным для нее будет лишь выбор нагрузочного коэффициента $\alpha = R_н/R_i$. Вместо общепринятого значения α, равного 3—5, выбирают α, равное 10—20. Это связано с желанием понизить выходное сопротивление

$$R_{вых} = \frac{(R_i + r_1)(R_н + r_2)}{\alpha R_i - r_1} + r_2, \qquad (22)$$

где R_i — внутреннее сопротивление лампы;
$R_н$ — сопротивление нагрузки (входное сопротивление линии);
r_1 и r_2 — сопротивление обмоток трансформатора.

При работе на линию $R_н$ обычно равно 600 *ом*, поэтому для получения $R_{вых} = 20 \div 50$ *ом* необходимо брать α в пределах 10—20. Такое значение α достигается благодаря большому коэффициенту трансформации

$$n = \sqrt{\frac{\alpha R_i - r_1}{R_н + r_2}}, \qquad (23)$$

что в свою очередь вызывает большое колебательное напряжение на аноде выходной лампы

$$U_а = U_{вых}\, n\, \frac{r_2 n^2 + r_1 + R_н n^2}{R_н n^2} \approx U_{вых}\, n. \qquad (24)$$

Для того чтобы нелинейные искажения при этом оставались в пределах допустимых для усилителей воспроизведения, необходимо применять высокое анодное напряжение или вводить в оконечный каскад обратную связь по напряжению (рис. 43). Последнее полезно тем, что снижает выходное сопротивление усилителя, так как при обратной связи по напряжению R_i уменьшается, а α увеличивается в $(1+K\beta)$ раз.

Особенность выходного каскада усилителя воспроизведения — относительно большие габариты выходного трансформатора, несоразмерные с теми, которые требовались бы для передачи сравнительно небольшой выходной мощности усилителя. Такие увеличенные габариты определяются следующими двумя соображениями.

Из формулы (22) видно, что выходное сопротивление $R_{вых}$, включающее в себя сопротивления обмоток r_1 и r_2, никогда не может быть меньше r_2. Поэтому для получения малых значений $R_{вых}$ надо уменьшать сопротивления обмоток, что возможно либо при увеличении размеров окна сердечника и применении более толстой проволоки, либо при увеличении набора сердечника и уменьшении количества витков.

Второе соображение о необходимости увеличения габаритов трансформатора вытекает из необходимости сокращения индукции в сердечнике и уменьшения возникающих из-за криволинейности характеристики намагничивания нелинейных искажений, которые могут достигнуть большой величины на нижних частотах рабочего диапазона. Для магнитофонов, работающих в полосе частот от 30 *гц*, сечение магнитопроводов выбирают от 6 до 8 *см²*.

В выходных каскадах усилителей воспроизведения широко применяют также схему с выходным трансформатором в цепи катода (рис. 44). Благодаря 100-процентной обратной связи по напряжению эта схема обладает весьма малым выходным сопротивлением и имеет незначительные нелинейные искажения. Выходное сопротивление может быть здесь рассчитано по формуле (22), если вместо R_i подставить выходное сопротивление лампы, равное $1/S$.

Так как расчет подобной схемы мало освещен в литературе, остановимся на нем подробнее.

Из конструктивных соображений и опыта выбирают величины r_1 и r_2. Обычно $r_1 = r_2 n^2$, и формула (22) принимает вид

$$R_{вых} = \frac{R_н + 2r_2}{\alpha} + 2r_2. \qquad (25)$$

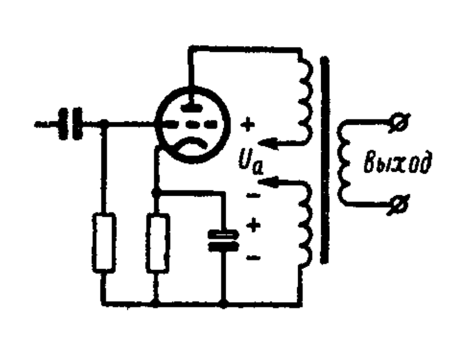


Рис. 43. Схема включения обратной связи в выходном каскаде усилителя воспроизведения.

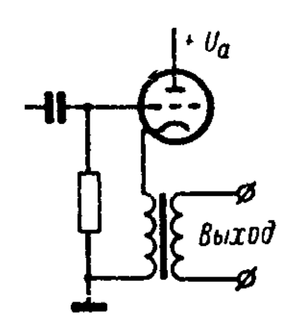


Рис. 44. Схема выхода усилителя воспроизведения с трансформатором в катодной цепи.

Поэтому достаточно выбрать r_2, чтобы по заданным значениям $R_{вых}$ и $R_н$ найти величину α.

Затем подсчитывают коэффициент трансформации n по формуле (23), преобразованной для случая $r_1 = r_2 n^2$:

$$n = \sqrt{\frac{\alpha R_i}{R_н + 2r_2}}. \qquad (26)$$

Как уже говорилось, в качестве R_i для этой схемы следует подставить значение $1/S$, которое у лампы в μ раз меньше, чем R_i. Поэтому значение n в схеме с трансформатором в цепи катода получается при одних и тех же лампах и $R_{вых}$ намного меньше, чем в схеме с трансформатором, включенным в анодную цепь.

Далее определяют пересчитанное сопротивление нагрузки

$$R'_н = \alpha R_i = \frac{\alpha}{S} \qquad (27)$$

и амплитуду колебательного напряжения на катоде

$$U_{к\sim} \approx U_{вых}\, n, \qquad (28)$$

где $U_{вых}$ — амплитуда выходного напряжения, которую необходимо получить на нагрузке.

Задаваясь коэффициентом усиления каскада $K=0{,}9$, находят примерное значение амплитуды переменного напряжения на его входе

$$U_{\text{вх}}=\frac{U_{\text{к}\sim}}{0{,}9} \tag{29}$$

и напряжение между сеткой и катодом лампы

$$U_{\text{с.к}}=U_{\text{вх}}-U_{\text{к}\sim}\,. \tag{30}$$

Тогда необходимое напряжение отрицательного смещения

$$|E_{\text{с}}|=U_{\text{с.к}}+(1{,}5\div 2)\ в. \tag{31}$$

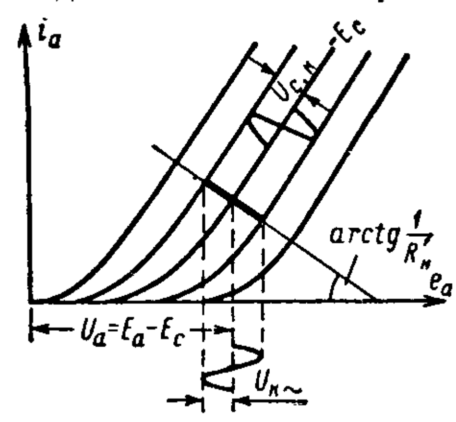


Рис. 45. Динамическая характеристика работы лампы для схемы на рис. 44.

По данным, полученным из формул (27), (28) и (31) и выбранному рекомендуемому для данной лампы рабочему напряжению $U_{\text{а}}$, определяют положение рабочей точки и строят динамическую характеристику в координатах $i_{\text{а}}=f(e_{\text{а}})$ (рис. 45).

По характеристике уточняют необходимую для получения ранее найденного $U_{\text{к}\sim}$ величину напряжения между сеткой и катодом $U_{\text{с.к}}$ и отсюда определяют точное значение входного напряжения

$$U_{\text{вх}}=U_{\text{к}\sim}+U_{\text{с.к}}\,.$$

Величина нелинейных искажений может быть найдена из динамической характеристики известным графо-аналитическим методом и уменьшена в $(1+K)$ раз, так как в схеме действует 100-процентная обратная связь. Напомним, что под K в этом случае понимается не истинное усиление каскада, а то усиление, которое он имел бы при отсутствии обратной связи, т. е.

$$K=\mu\frac{R'_{\text{н}}}{R'_{\text{н}}+R_i}\,,$$

где $R'_{\text{н}}$ — определяется формулой (27);

R_i — внутреннее сопротивление лампы.

Если нелинейные искажения получаются больше заданной величины, то можно попробовать изменить положение начальной рабочей точки, т. е. выбрать другие значения $E_{\text{а}}$ и $E_{\text{с}}$.

Следует учесть, что точность графо-аналитического метода не позволяет определять нелинейные искажения, меньшие чем 0,5%. Поэтому окончательно выбирают положение рабочей точки экспериментально.

В рассматриваемой схеме обычно стараются выбрать активное сопротивление первичной обмотки трансформатора таким, чтобы падение постоянного напряжения на ней было равно рассчитанному напряжению сеточного смещения. Это позволяет обойтись без резистора и конденсатора смещения. В случае же затруднений они могут быть введены в схему так, как это показано на рис. 46.

Своеобразен для схемы с катодным выходом подход к выбору индуктивности первичной обмотки L_1. Если в схеме с трансформатором в анодной цепи ее выбирают только из соображений допустимого завала частотной характеристики на низких частотах, то при катодном включении трансформатора более жестким критерием оказывается величина нелинейных искажений на низких частотах. Действительно, в случае недостаточности L_1 общее сопротивление нагрузки лампы уменьшается на низких частотах, динамическая характеристика располагается более круто и нелинейные искажения увеличиваются.

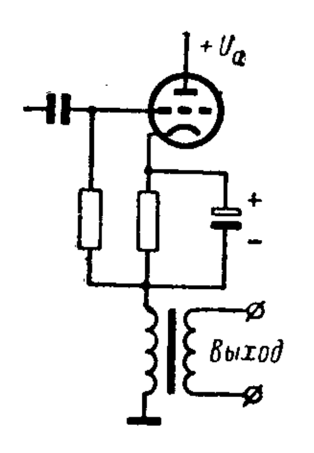


Рис. 46. Вариант схемы выхода усилителя воспроизведения с трансформатором в катодной цепи.

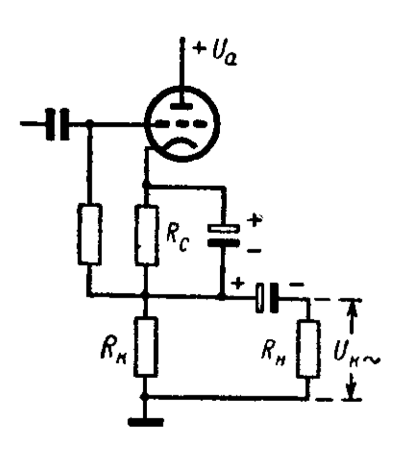


Рис. 47. Схема катодного повторителя в выходном каскаде усилителя воспроизведения.

Заканчивая разбор схемы с трансформатором в катодной цепи, отметим, что основной ее недостаток заключается в отсутствии усиления в выходном каскаде и необходимости большого напряжения для раскачки, что, с одной стороны, увеличивает количество ламп в усилителе, а с другой, — усложняет построение предоконечного каскада, так как в нем также возникает опасность появления нелинейных искажений.

Рассмотрим еще одну схему катодного повторителя, показанную на рис. 47. Отсутствие в ней выходного трансформатора упрощает конструкцию усилителя воспроизведения и снижает его вес. Поэтому данная схема находит применение в переносных и передвижных магнитофонах, выполненных по блок-схеме, показанной на рис. 2. Усилитель воспроизведения в этих магнитофонах во время записи и воспроизведения нагружен на входные сопротивления оконечного усилителя (или головных телефонов) и индикатора уровня, т. е. нагружен очень мало. Поэтому относительно большое выходное сопротивление данной схемы $(1/S)$, равное нескольким сотням ом, не является большим недостатком.

Другая особенность схемы — несимметричность ее выхода — для магнитофонов указанной группы также не столь существенна, так как они не работают на длинные линии и большое количество нагрузок. Максимальная нагрузка, на которую надо рассчитывать схему, — это входное сопротивление микшерного усилителя при перезаписи. Сравнительно малое значение последнего (например, 600 *ом*) обусловливает повышенные нелинейные искажения, доходящие обычно до 1%.

Режим и сопротивление $R_к$ могут быть при расчете выбраны графо-аналитическим путем. При построении динамической характеристики следует учитывать различие нагрузок лампы по постоянной и переменной составляющим анодного тока. Нагрузкой для постоянного тока служит сопротивление резисторов $R_к + R_с$, а для переменного — сопротивления резисторов $R_к$ и $R_н$, включенных параллельно. На рис. 48 приведены динамические характеристики как для той, так и для другой составляющих. С увеличением $R_к$ динамическая характеристика для переменного тока становится более пологой, что само по себе способствует снижению нелинейных искажений, однако одновременно перемещается вниз и рабочая точка, что приводит к противоположному результату. Окончательно выбирают рабочую точку путем сравнения нескольких режимов, полученных при различных $R_к$.

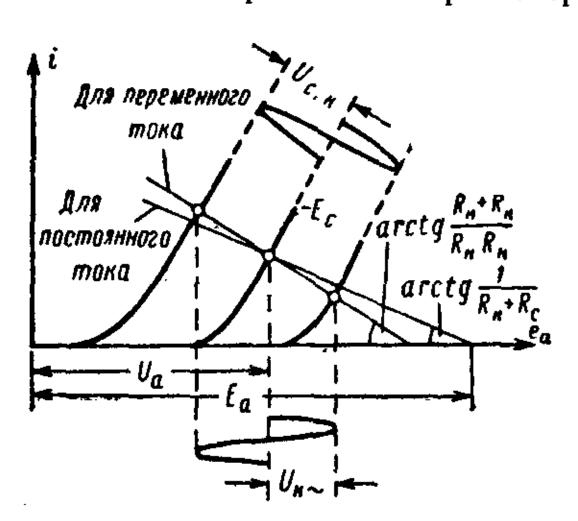


Рис. 48. Динамическая характеристика работы лампы для схемы на рис. 47.

В транзисторных усилителях воспроизведения требования, предъявляемые к выходному каскаду, и условия его работы аналогичны рассмотренным для ламповых схем. Если выходной каскад нагружен на линию, то его обычно собирают по двухтактной схеме (рис. 49), охватывая совместно с предоконечным каскадом и фазоинвертором глубокой обратной связью (15—20 *дб*). В этой схеме выходные транзисторы работают в режиме *AB*. Для лучшей температурной устойчивости параллельно резисторам R_{11} и R_{13} включены терморезисторы R_{12} и R_{14}. Высокочастотные наводки от генератора токов стирания и подмагничивания могут сместить положения рабочих точек транзисторов или вызвать ограничение по напряжению коллектора в выходном каскаде. В результате увеличиваются нелинейные искаже-

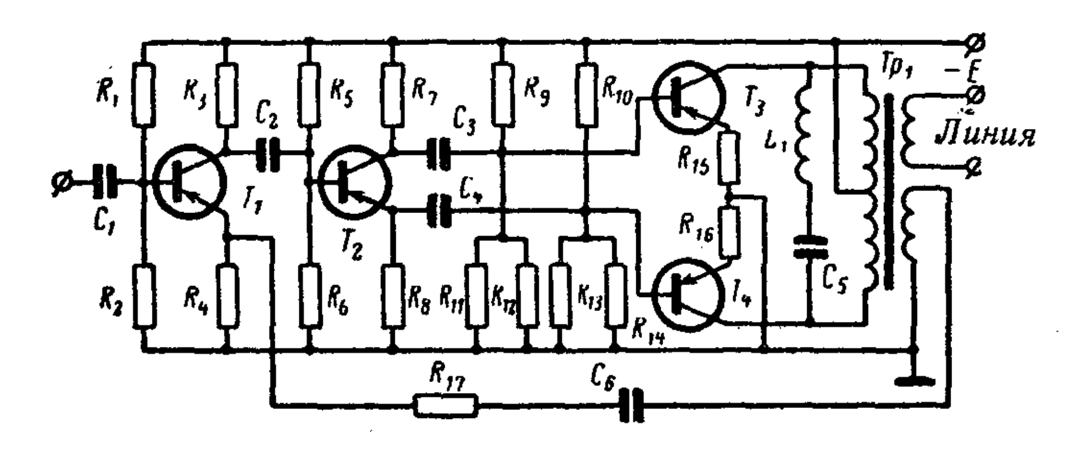


Рис. 49. Схема трех последних каскадов транзисторного усилителя воспроизведения.

ния. Чтобы избежать этого, следует зашунтировать коллекторную нагрузку выходного каскада последовательным контуром L_1C_5, настроенным на частоту генератора.

Выходным каскадом может также служить обычный эмиттерный повторитель с линейным трансформатором. Трансформатор в этом случае получается намного проще и меньше по размерам, чем трансформатор для схемы на рис. 49. Хорошо работают в качестве выходных каскадов каскодные эмиттерные повторители, имеющие очень низкое выходное сопротивление.

Если выходной каскад транзисторного усилителя воспроизведения работает не на линию, а на последующий, более мощный, усилитель, то его собирают по широко известным схемам, не имеющим каких-либо специфических особенностей.

В заключение остановимся на нелинейных искажениях в остальных (кроме выходного) каскадах усилителя воспроизведения. Опыт показывает, что в неблагоприятных случаях эти искажения могут быть даже больше, чем искажения в выходном каскаде. В частности, в ламповых усилителях основная причина этого заключается в том, что для питания анодов первых каскадов хорошо сглаженным напряжением в схему вводят *RC*-фильтры с большим сопротивлением. Это приводит к резкому уменьшению анодных напряжений и, как следствие, к заметным нелинейным искажениям, несмотря на малые амплитуды колебаний, усиливаемых первыми каскадами.

Если частотную коррекцию делают в усилителе после *n* каскадов усиления, то возникающие в этих каскадах гармонические искажения почти не обнаруживаются при обычных измерениях на выходе усилителя, так как благодаря специфической форме частотной характеристики усилителя (рис. 25) вторая и третья гармоники будут в 2—3 раза ослаблены по сравнению с первой гармоникой. Это не означает, что нелинейность первых каскадов несущественна. При прохождении через усилитель не одного, а нескольких сигналов с частотами ω_1, ω_2, ω_3 продуктами нелинейных искажений становятся не только высшие гармоники каждого из сигналов, но и комбинационные сигналы, в частности сигналы разностных частот $\omega_1 - \omega_2$, $\omega_1 - \omega_3$, $\omega_2 - \omega_3$. Последние, как более низкие по частоте, чем основные сигналы, будут благодаря действию частотной коррекции относительно усилены в несколько раз. Поэтому к каскадам, предшествующим месту нахождения элементов частотной коррекции, должны предъявляться очень высокие требования в отношении их линейности. С этой точки зрения лучшие схемы — схемы частотной коррекции при помощи отрицательной обратной связи в первом или в первых двух каскадах. Наоборот, схемы коррекции с *RC*-делителем, включенным после первого и особенно после второго каскада, вызывают наибольшие опасения в отношении нелинейных искажений и их следует тщательно обследовать во время измерений.

Мерой повышения линейности первых каскадов при таких схемах коррекции служит или увеличение напряжения питания, или охват каждого из каскадов в отдельности частотно-независимой обратной связью.

Обнаружить нелинейные искажения в первых каскадах не очень просто. Как уже объяснялось, измерение коэффициента гармоник на выходе усилителя помочь в этом не может. Необходимо или измерять коэффициент гармоник до того места схемы, где происходит частотная коррекция, или измерять разностный тон, подавая на вход усилителя два сигнала, например 4 000 и 3 200 *гц*.

В выходном и предшествующем ему каскадах иногда наблюдается взаимная компенсация нелинейных искажений. Особенно подвержены этому усилители воспроизведения с катодным выходом. Может, например, получиться, что гармонические искажения одного выходного каскада равны 0,8%, а выходного и предвыходного вместе взятых всего 0,3%.

Из-за переворачивания в усилительном каскаде фазы напряжения на 180° искажения формы кривой, возникающие в предвыходном каскаде, противоположны по своему характеру искажениям, возникающим в выходном каскаде, и взаимно компенсируются. Такая компенсация неустойчива, она легко нарушается при смене ламп и изменении режима питания. Поэтому компенсацией не следует пользоваться и необходимо уменьшать нелинейные искажения в каждом из каскадов в отдельности.

Глава третья

УСИЛИТЕЛИ ЗАПИСИ

11. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

В соответствии с приведенными в гл. 1 блок-схемами магнитофонов под усилителем записи следует понимать те каскады усиления в канале записи, основным назначением которых служат частотные предыскажения записываемых на ленту сигналов и посылка этих сигналов в головку записи. В соответствии с указанным назначением можно отметить три основные особенности усилителя записи, влияющие на построение его схемы: 1) работа выходного каскада на индуктивную нагрузку (головка записи); 2) наличие частотных предыскажений усиливаемого сигнала; 3) смешение выходного сигнала с высокочастотными колебаниями, подмагничивающими ленту во время записи.

Эти особенности усилителя будут рассмотрены в дальнейшем, теперь же рассмотрим другие вопросы работы усилителя записи и построения его схемы.

Вход усилителя записи, если он предназначен для работы с линии, делают симметричным, для чего в схему включают входной трансформатор. Полное входное сопротивление трансформатора во всем рабочем диапазоне частот должно в 8—10 раз превосходить сопротивление линии, для того чтобы подключение к ней даже нескольких магнитофонов не снижало заметно уровень сигнала.

Если усилитель работает от предыдущих каскадов канала записи своего же магнитофона (например, от микрофонного усилителя), то вход его делают несимметричным. Его связывают и согласуют с предыдущим каскадом так, как это обычно принято в усилителях низкой частоты.

В усилителе записи должен предусматриваться регулятор усиления, назначение которого рассмотрено в гл. 1. Это обычный для схем усилителей потенциометр, включаемый между каскадами или на входе усилителя. Этот регулятор нельзя включать внутри той части

схемы усилителя, которая охвачена обратной связью (если она применяется).

Собственные помехи усилителя, весьма значительные и труднопреодолимые в усилителе воспроизведения, не бывают столь серьезным препятствием в усилителе записи. Это объясняется тем, что полезный сигнал на входе усилителя записи намного больше. Поэтому, хотя относительный уровень помех усилителя записи и должен быть примерно на 10 *дб* ниже, чем относительный уровень помех магнитофона в целом, достигается он сравнительно просто. В частности, например, питать накал ламп можно переменным током, применяя лишь меры ослабления действия пульсации (см. § 4). Пульсации анодного питания также допускаются бо́льшие, чем для усилителя воспроизведения. Их величину рассчитывают по тому же методу, который был рассмотрен в § 4 для усилителей воспроизведения.

По своему спектральному составу помехи усилителя записи главным образом низкочастотные (фон). Для правильной оценки помех надо учитывать, что следующие за усилителем записи в сквозном канале элементы блок-схемы (головка записи, лента, головка и усилитель воспроизведения) компенсируют своим действием частотные предыскажения усилителя и соответственно влияют на отдельные компоненты помехи. Обычно в усилителе записи имеется подъем частотной характеристики на высоких частотах. Вследствие этого высокочастотные шумы усилителя будут усилены. В то же время на выходе магнитофона действие этих шумов будет ослаблено ровно настолько, насколько они получились бы меньше при измерении усилителя записи в отдельности, если частотная характеристика была бы горизонтальна в пределах рабочего диапазона. Это следует учитывать при расчетах и измерениях помех усилителя записи. В последнем случае или выводят регулятор коррекции на минимум (если есть такой регулятор) до получения горизонтальной характеристики, или включают измерительный прибор через фильтр, имеющий частотную характеристику, обратную характеристике усилителя записи.

Обычно усилитель записи конструктивно объединен с генератором высокой частоты для стирания и подмагничивания ленты или по крайней мере близко к нему расположен. Это создает опасность высокочастотных наводок на отдельные провода схемы усилителя, в результате чего может нарушиться нормальный режим работы ламп (появятся сеточные токи). По той же причине иногда наблюдается увеличение помех усилителя. Объясняется это тем, что генератор высокой частоты вырабатывает колебания, модулированные в какой-то степени пульсациями анодного напряжения, а в усилителе из-за нелинейности ламп происходят детектирование наведенного сигнала и преобразование его в фон переменного тока. Для защиты от действия высокой частоты сеточные провода ламп усилителя необходимо экранировать, заключая их в металлическую оплетку, соединенную с шасси усилителя. Немаловажное значение в защите от действия высокой частоты имеет удачное взаиморасположение деталей усилителя и генератора, а также правильный их монтаж.

Мощность, потребляемая цепью головки записи, весьма мала (несколько сотых долей ватта), поэтому получение в усилителе записи нелинейных искажений не более 0,5% вполне реально. Для достижения этого применяют достаточно высокое напряжение питания и обратную связь (либо внутрикаскадную, либо охватывающую те каскады, где нет элементов схемы частотных предыскажений сигнала). Возможны, впрочем, и схемы с частотно-зависимой обратной связью,

они одновременно уменьшают нелинейные искажения и осуществляют предыскажения сигнала. Такие схемы будут рассмотрены далее.

Во время воспроизведения головку записи необходимо обесточить, чтобы исключить ее воздействие на ленту и не испортить фонограмму. Для этого надо либо отключить головку записи от усилителя, либо отключить от усилителя питание.

При блок-схеме магнитофона, выполненной по рис. 2, нужно отключить головку, так как в паузах записи усилитель записи остается включенным, что позволяет производить слуховой контроль сигналов, приходящих на его вход. При переходе в режимы: «стоп», «воспроизведение» или «перемотка», кроме отключения головки записи, необходимо также снять питание с генератора высокой частоты, так как иначе головка стирания, соединенная с ним, сотрет фонограмму при перемотке ленты или при воспроизведении. При этом должна обязательно соблюдаться следующая очередность коммутации. При включении магнитофона на запись сначала подается напряжение питания на генератор, а потом замыкаются контакты, подсоединяющие головку записи к выходу усилителя записи. При выключении записи коммутация должна происходить в обратной последовательности. Несоблюдение этого условия приводит к намагничиванию головки записи начальным импульсом анодного тока генератора и увеличению вследствие этого шума фонограммы. Надлежащая очередность коммутации может осуществляться при помощи двух реле с различным временем срабатывания, а также благодаря взаиморасположению контактов одного реле или контактов, связанных с органами управления магнитофоном.

При блок-схеме, соответствующей рис. 1, можно применять как отключение головки записи, так и отключение питания. Во втором случае, чтобы головка записи не намагничивалась, применяют схемы, устраняющие быстрое нарастание и спадание анодного тока усилителя записи и генератора при их включении и выключении. Эти схемы построены на применении в анодной или сеточной цепях RC-фильтров с большой постоянной времени.

12. ВЫХОДНОЙ КАСКАД И ВЫХОДНЫЕ ЦЕПИ

Действие записывающей головки на магнитную ленту может быть выражено как через напряжение, так и через ток в обмотке. Действительно, при синусоидальном сигнале магнитный поток Φ в сердечнике головки может быть вычислен как

$$\Phi = K_1 \frac{U_\text{г}}{\omega f} \text{ и } \Phi = K_2 \frac{i_\text{г} w}{R_\text{м}},$$

где $U_\text{г}$ — напряжение на головке;
$i_\text{г}$ — ток через обмотку головки;
w — число витков головки;
f — частота сигнала;
$R_\text{м}$ — полное сопротивление магнитопровода головки;
K_1 и K_2 — коэффициенты пропорциональности, зависящие от выбора единиц измерения.

Магнитный поток может рассматриваться как мера воздействия головки на ленту, поскольку это воздействие пропорционально напряженности поля записи, а последнее пропорционально магнитному потоку в сердечнике головки. Сравнивая два вышеприведенных выражения для потока Φ, видно, что преимущество второго — независимость потока от частоты. Так как работа головки записи происходит в рабочем диапазоне частот, то второе выражение удобнее. Используя же первое выражение, нужно было бы в каждом случае указывать не только напряжение на головке, но и частоту сигнала. Первое выражение, кроме того, предполагает, что активное сопротивление обмотки намного меньше реактивного. Второе же выражение справедливо при малых потерях энергии в сердечнике и окружающем головку пространстве.

Нетрудно показать, что в диапазоне звуковых частот первое предположение не всегда выполняется, в то время как второе можно практически считать всегда выполнимым. Поэтому при дальнейшем изложении мы будем оценивать воздействие головки на ленту и выходной эффект, создаваемый усилителем записи, по току через обмотку. Необходимый ток зависит от конструкции головки, числа витков ее обмотки, выбора подмагничивания и свойств магнитной ленты. Обычно записывающие головки, работающие от усилителя записи, имеют небольшое число витков, т. е. относятся к числу низкоомных. Объясняется это тем, что для таких головок не требуется большого напряжения подмагничивания, что упрощает построение генератора высокой частоты. Типовая головка записи типа 3-02, например, имеющая 300 витков, создает максимальное намагничивание ленты типа 2 (эффективное значение остаточного магнитного потока 1 600 *пвб*) при эффективном токе через обмотку около 2 *ма*, когда подмагничивание ленты выбрано оптимальным. Очевидно, что для создания одинакового воздействия на ленту во всем рабочем диапазоне частот необходимо поддерживать ток записи постоянным (не следует путать воздействие с результатом воздействия, т. е. с остаточным магнитным потоком ленты, так как последний не будет постоянным при $i_\text{г} = \text{const}$, а будет уменьшаться по мере повышения частоты из-за действия различного рода потерь, существующих в процессе записи).

Так как сопротивление обмотки $\omega L_\text{г}$ увеличивается с частотой, то поддержание постоянного тока приводит к необходимости иметь на выходе усилителя напряжение, питающее головку, также увеличивающееся с частотой, т. е. $U_\text{г} = i_\text{г} \omega L_\text{г}$, что неудобно, так как требует в усилителе дополнительных частотных предыскажений. Кроме того, это ставит выходной каскад в режим переменной нагрузки, сопротивление которой весьма мало на низких частотах, из-за чего на этих частотах возрастают нелинейные искажения.

Отсюда возникает вопрос о стабилизации сопротивления нагрузки в усилителе записи. Простейшим способом стабилизации служит включение последовательно с головкой ограничительного резистора с достаточно большим сопротивлением R, выбранным так, чтобы во всем диапазоне частот $R \gg \omega L_\text{г}$. Тогда сопротивление нагрузки усилителя может считаться равным сопротивлению R. Практически для этого достаточно, чтобы сопротивление ограничительного резистора выбиралось следующим образом:

$$R = 2\,\omega_\text{в} L_\text{г} = 4\pi f_\text{в} L_\text{г}, \qquad (32)$$

где $f_\text{в}$ — верхняя рабочая частота, *гц*;
$L_\text{г}$ — индуктивность головки записи, *гн*.

Второй способ стабилизации нагрузки в усилителе записи заключается во включении последовательно с головкой записи параллельно

соединенных резистора R и конденсатора C (рис. 50). Полное входное сопротивление такой цепи (между точками A и $Б$) может быть вычислено по формуле

$$Z = R\,\alpha\,\frac{\sqrt{\alpha^2 + (k^3 + \alpha^2 k - k)^2}}{k^2 + \alpha^2}, \qquad (33)$$

где

$$\alpha = \frac{\omega_p L_г}{R}; \quad \omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_г C}}; \quad k = \frac{\omega}{\omega_p};$$

ω — круговая частота, для которой подсчитывается сопротивление Z.

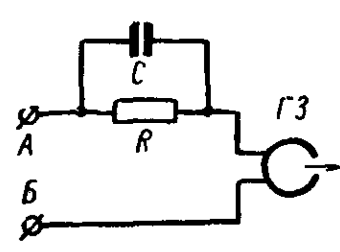


Рис. 50. Схема стабилизации нагрузки усилителя записи при помощи RC-цепи.

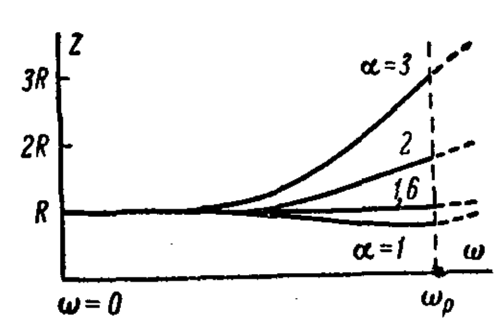


Рис. 51. К расчету сопротивления нагрузки усилителя записи.

Исследуя изменение Z в диапазоне частот от $\omega = 0$ до $\omega = \omega_p$ в зависимости от выбранной величины α, мы получим кривые графика (рис. 51), исходя из которых можно сделать следующие выводы:

1. Наилучшая стабилизация сопротивления достигается при $\alpha = 1{,}6$.

2. При $\alpha < 1{,}6$ ток через обмотку головки при постоянстве входного напряжения усиливается по мере увеличения частоты, так как Z уменьшается. Это может быть использовано для получения (хотя бы частично) необходимых в усилителе записи частотных предыскажений сигнала. При этом следует выбрать ω_p равной верхней рабочей частоте, иначе максимум тока будет сдвинут в пределы рабочей полосы.

С учетом этого рассчитываем ограничительную цепочку в следующем порядке.

Принимаем

$$\omega_p = 2\pi f_в,$$

где $f_в$ — верхняя рабочая частота, *гц*.

Определяем сопротивление резистора

$$R = \frac{\omega_p L_г}{\alpha} = \frac{\omega_в L_г}{1{,}6}, \qquad (34)$$

где $L_г$ — индуктивность, *гн*.

Затем определяем емкость конденсатора

$$C = \frac{1}{\omega_в^2 L_г}, \qquad (35)$$

где C — емкость, *ф*.

Оба способа стабилизации нагрузки усилителя как с помощью ограничительного резистора, так и с помощью цепочки RC применяют в различных магнитофонах. Мы еще вернемся к сравнению их между собой, но пока лишь отметим, что при ограничительном резисторе выходное напряжение и выходная мощность усилителя записи должны быть при прочих равных условиях больше, чем при схеме с ограничительной цепочкой RC. К этому выводу нетрудно прийти, сопоставив формулы (32) и (34), из которых следует, что общее сопротивление цепи головки записи получается в первом случае в

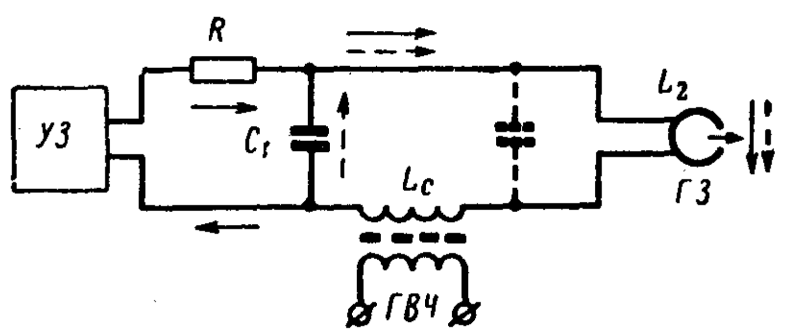


Рис. 52. Последовательная схема смешения токов звуковой частоты и подмагничивания.

3,2 раза больше, чем во втором. Таким образом, с точки зрения снижения нелинейных искажений более предпочтительна схема с RC-цепочкой.

Рассмотрим теперь схему смешения на выходе усилителя токов звуковой и высокой частоты (подмагничивания). Смешение может происходить или последовательным, или параллельным соединением источников колебаний звуковой и высокой частоты. Соответственно различают параллельную и последовательную схемы смешения.

На рис. 52 показана последовательная схема. На ней сплошными стрелками обозначено прохождение тока звуковой частоты, а штриховыми — тока подмагничивания. Усилитель защищен от попадания в него тока подмагничивания конденсатором C_1, емкость которого выбирают так, чтобы на частоте подмагничивания $\omega_п$ выполнялось равенство

$$\frac{1}{\omega_п C_1} = \frac{R}{2 \div 3} \qquad (36)$$

и путь через выходное сопротивление усилителя и резистор R был намного труднее, чем путь через конденсатор C_1 (в данной схеме нельзя применять стабилизацию нагрузки усилителя при помощи цепочки RC, так как тогда защитное действие R исчезает и ток подмагничивания через цепочку RC ответвится в усилитель). В то же время шунтирование головки записи конденсатором C_1 должно быть незначительным даже на верхней рабочей частоте $\omega_в$

$$\frac{1}{\omega_в C_1} = (3 \div 5)\,[\omega_в (L_г + L_с)].$$

Так как $L_с \ll L_г$, а $\omega_в L_г = \frac{1}{2} R$

[см. формулу (32)], то последнее выражение перепишется в виде

$$\frac{1}{\omega_в C_1} = (1,5 \div 2,5)\,R. \tag{37}$$

Деля по частям равенства (37) и (36), получим:

$$\frac{\omega_п}{\omega_в} = \frac{f_п}{f_в} = 3 \div 7,5. \tag{38}$$

Хорошее разделение путей токов звуковой частоты и подмагничивания получается, когда отношение $f_п/f_в = 6 \div 8$. Например, при

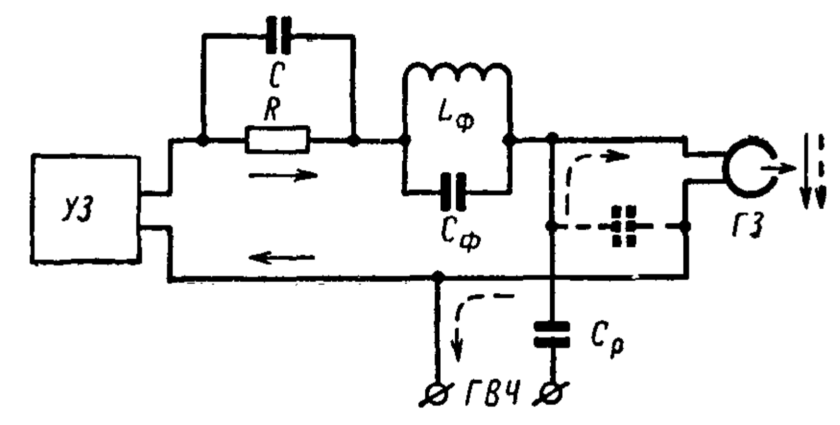


Рис. 53. Параллельная схема смешения токов звуковой частоты и подмагничивания.

работе магнитофона в диапазоне частот до 10 000 *гц* частота подмагничивания должна, по изложенным соображениям, быть не менее 60 *кгц*, что на практике и выполняется.

Если принять отношение $f_п/f_в = 6$, то равенство (36) можно записать в виде

$$\frac{1}{6\omega_в C_1} = \frac{R}{2 \div 3} \text{ или } \frac{1}{\omega_в C_1} = (2 \div 3)\,R.$$

С другой стороны, из равенства (37) имеем:

$$\frac{1}{\omega_в C_1} = (1,5 \div 2,5)\,R.$$

Сопоставляя два последних равенства и принимая среднюю величину числового коэффициента равной 2, приходим к формуле для расчета конденсатора C_1:

$$C_1 = \frac{1}{2R\,\omega_в}, \tag{39}$$

где R — сопротивление, *ом*;
C — емкость, *ф*.

Серьезный недостаток последовательной схемы заключается в затруднительности регулирования тока подмагничивания, которое может достигаться либо путем устройства отводов от катушки связи $L_с$, либо введением в генератор регулятора, изменяющего э. д. с., наведенную в катушке связи.

Поэтому более часто применяют параллельную схему смешения, приведенную на рис. 53 (сплошные стрелки здесь также показывают путь тока звуковой частоты, а штриховые — тока подмагничивания). Путь току подмагничивания в усилитель записи преграждает контур $L_ф C_ф$ (фильтр-пробка), настроенный на частоту тока подмагничивания. Путь току звуковой частоты в генератор преграждает разделительный конденсатор $C_р$ небольшой емкости, сопротивление которого на самой высокой рабочей частоте должно быть во много раз больше сопротивления головки *ГЗ*.

Конденсатор $C_р$ часто делают полупеременным для возможности регулирования тока подмагничивания. Для достижения регулирующего действия сопротивление конденсатора $C_р$ и на частоте подмагничивания должно быть в 3—5 раз больше, чем сопротивление записывающей головки. Так как это требование перекрывает предыдущее, из него можно вывести расчетную формулу для емкости конденсатора $C_р$

$$\frac{1}{\omega_п C_{р.макс}} = (3 \div 5)\,\omega_п L_г;$$

$$C_{р.макс} = \frac{1}{(3 \div 5)\,\omega_п^2 L_г},$$

где $L_г$ — индуктивность, *гн*;
$C_{р.макс}$ — емкость, *ф*.

Последняя формула может быть преобразована, если среднее значение коэффициента в знаменателе принять равным 4 и изменить единицы измерений. Тогда

$$C_{р.макс} = \frac{6 \cdot 10^6}{f_п^2 L_г}, \tag{40}$$

где $C_{р.макс}$ — емкость, *пф*.
$f_п$ — частота подмагничивания, *кгц*;
$L_г$ — индуктивность головки записи, *мгн*.

Данные фильтра-пробки выбирают из следующих соображений: во-первых, резонансная частота фильтра должна совпадать с частотой подмагничивания

$$f_п = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_ф C_ф}}, \tag{41}$$

во-вторых, так как катушка фильтра включена последовательно с обмоткой головки в цепи прохождения тока звуковой частоты (см. рис. 53), то при расчете стабилизирующей цепочки RC по формулам (34) и (35) вместо $L_г$ следует подставить $L_г + L_ф$. Поэтому не следует брать слишком большое $L_ф$, так как это вызовет увеличение R, что в свою очередь потребует большего выходного напряжения и выходной мощности от усилителя записи. С другой стороны, при малом значении $L_ф$ резонансное сопротивление фильтра $Z_ф = L_ф/C_ф R_ф$ получается недостаточным и он плохо работает. Практически выбирают

$$L_ф = (0,25 \div 1)\,L_г, \tag{42}$$

уточняя затем ее величину из конструктивных соображений.

Для повышения $Z_ф$ катушку фильтра необходимо наматывать возможно более толстой проволокой и на сердечнике с малыми поте-

рями (карбонильное железо, оксифер). Требуемая величина $Z_ф$ может быть уточнена, если известна мощность $P_п$, затрачиваемая током подмагничивания головки. Тогда

$$Z_ф = (5 \div 8) \frac{U_п^2}{P_п}, \qquad (43)$$

где $U_п$ — напряжение подмагничивания головки, *в*;
$P_п$ — мощность подмагничивания, *вт*.

Формулы (41), (42) и (43) дают возможность рассчитать все электрические данные фильтра-пробки. Преимущество параллельной схемы смещения заключается в легкости плавной регулировки в широких пределах тока подмагничивания. Для этого, как указывалось, достаточно взять конденсатор $C_р$ полупеременным. Недостаток схемы — усложнение конструкции усилителя из-за фильтра-пробки.

Как при параллельной, так и при последовательной схемах смещения, головки записи часто шунтируют конденсатором небольшой емкости (на рис. 52 и 53 он показан пунктиром). Делается это для того, чтобы улучшить форму тока подмагничивания, отфильтровав его вторую гармонику. Емкость конденсатора выбирают такой, чтобы в сочетании с индуктивностью головки образовался контур, настроенный на частоту тока подмагничивания. Настройка головки в резонанс целесообразна еще и потому, что уменьшает потребляемый от генератора ток, устраняя его реактивную составляющую и стабилизируя подмагничивание. Происходящий в процессе работы головки износ и изменение индуктивности почти не изменяют при этом напряжение подмагничивания на обмотке, а следовательно, и поле подмагничивания, действующее на ленту.

Переходим теперь к схемам выходного каскада усилителя записи. Незначительность полезной мощности, которую должен развивать этот каскад, делает целесообразным применение в нем в случае ламповой схемы маломощных триодов. Внутреннее сопротивление их желательно не более 10 000 *ом*, чтобы легче было согласовать их с нагрузкой (цепью головки записи). Поэтому следует применять такие лампы как, например, 6Н3П, 6Н8С и им подобные.

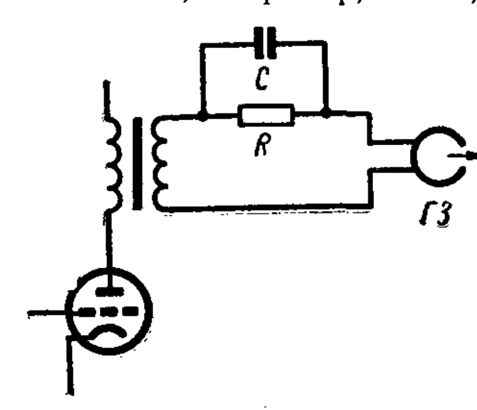


Рис. 54. Схема выходного каскада усилителя записи с трансформатором в анодной цепи.

Наиболее простая схема — с выходным трансформатором в анодной цепи. На рис. 54 показан вариант схемы с цепочкой *RC* в качестве стабилизатора нагрузки, однако схема может быть выполнена и без конденсатора *C*. В обоих случаях нагрузочным сопротивлением трансформатора служит резистор *R*, так как полное сопротивление цепи записывающей головки незначительно отличается от него.

Амплитуда выходного напряжения усилителя записи равна:

$$U_{вых} = \sqrt{2}\, i_г R,$$

где $i_г$ — так называемая чувствительность головки записи, т. е. эффективный ток низкой частоты в обмотке, при котором достигается максимально допустимая намагниченность ленты.

Исходя из сопротивления нагрузки и выходного напряжения, рассчитывают выходной трансформатор и выбирают режим лампы так, как это обычно делают при расчете выходного каскада усилителя низкой частоты. Для снижения нелинейных искажений нагрузочный коэффициент $\alpha = R'_и / R_i$ выбирают не менее 3. С этой же целью обратную связь по напряжению вводят в выходной или в два последних каскада усилителя.

Напряжение обратной связи снимается с делителя во вторичной обмотке (рис. 55). Сопротивления резисторов делителя R_1 и R_2 в сумме должны быть в 3—5 раз больше сопротивления нагрузки. Соотношение между сопротивлениями делителя выбирается в зависимости от того коэффициента обратной связи, который желают получить.

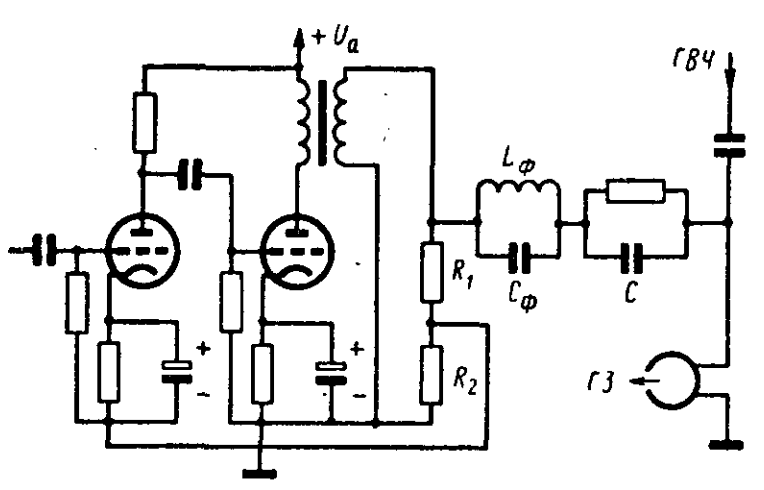


Рис. 55. Схема включения обратной связи в усилителе записи.

Как видно из схемы, часть постоянной составляющей анодного тока предоконечного каскада ответвляется в головку записи, что нежелательно, так как увеличивает шум фонограммы. Для уменьшения этого недостатка схемы следует, по возможности, снижать омическое сопротивление выходной обмотки трансформатора или включить в цепь головки разделительный конденсатор достаточно большой емкости.

Обратная связь в усилителе записи ослабляет нелинейные искажения, возникающие не только в лампах, но и в выходном трансформаторе. Поэтому в усилителях, рассчитанных на высокое качество записи, она весьма желательна.

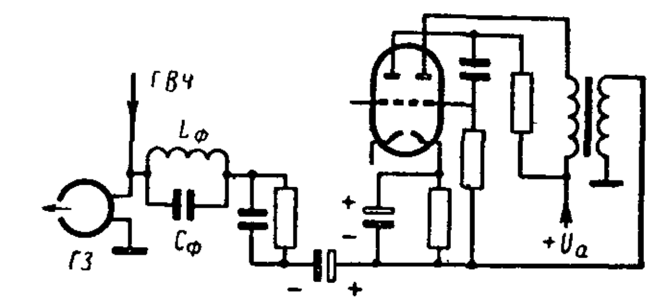


Рис. 56. Схема комбинированной обратной связи в выходном каскаде усилителя записи.

Интересен вариант схемы выходного каскада с обратной связью, предложенный М. В. Цукасовым (рис. 56). В ней сделана 100-процентная обратная связь по напряжению (все напряжение со вторичной обмотки выходного трансформатора вводится в противофазе в цепь катода выходной цепи) и, кроме того, обратная связь по току. Благодаря действию этой комбинированной обратной связи выходной

каскад дает очень небольшие искажения. Большое преимущество схемы — ее экономичность, так как она работает на триодах с малым анодным током (6Н9С, 6Н2П). Это особенно важно в тех магнитофонах, где почему-либо ограничен расход электропитания.

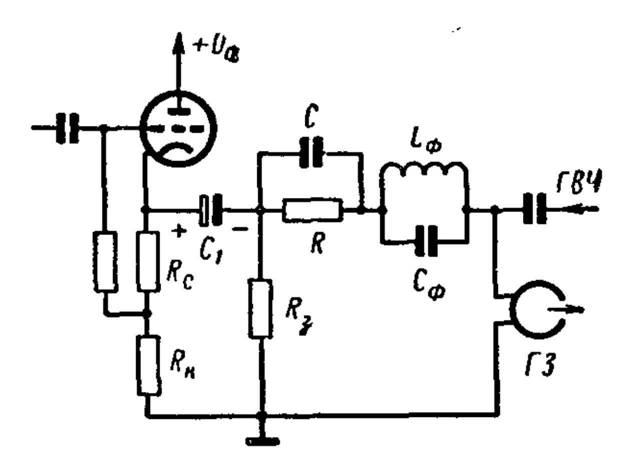


Рис. 57. Схема катодного повторителя в выходном каскаде усилителя записи.

В заключение рассмотрим схему катодного повторителя, применяемого в качестве выходного каскада усилителя записи (рис. 57). Благодаря отсутствию в схеме выходного трансформатора она может успешно использоваться в переносных магнитофонах.

Недостаток схемы заключается в относительно большом коэффициенте нелинейных искажений (до 1,5%) вследствие работы катодного повторителя на сравнительно небольшое сопротивление цепи головки записи, равное сопротивлению R. Схема хуже защищена от воздействия высокочастотного генератора, так как выходное сопротивление каскада получается больше, чем в схеме с трансформаторным выходом. Поэтому фильтр-пробку приходится делать с большим значением $Z_ф$, используя катушку на тороидном ферритовом сердечнике с малыми потерями.

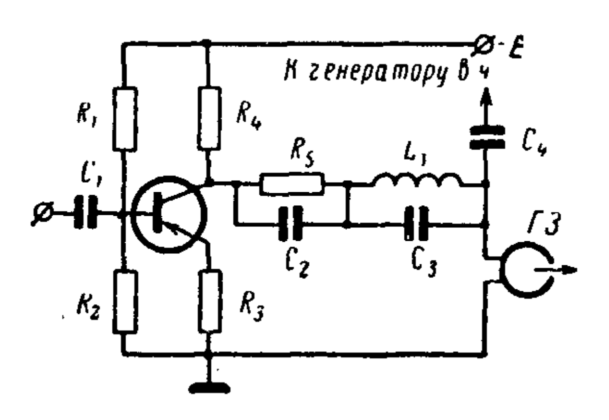


Рис. 58. Схема выходного каскада усилителя записи на транзисторах.

Выбор величин C, R, $Z_ф$ и $C_ф$ был уже рассмотрен. Выбор сопротивлений резисторов $R_с$ и $R_к$, а также графо-аналитический метод расчета режима работы лампы аналогичны тем, которые были изложены применительно к схеме катодного повторителя в выходном каскаде усилителя воспроизведения (рис. 47). Конденсатор C_1 должен обладать для низких частот намного меньшим сопротивлением, чем сопротивление резистора R, поэтому его берут достаточно большой емкости. Чтобы защитить головку записи от зарядного тока конденсатора C_1, в схему включают резистор $R_з$ сопротивлением около 10 000 *ом*. Оно не отражается на величине нагрузки каскада, но достаточно для того, чтобы при включении анодного питания конденсатор C_1 зарядился раньше, чем к выходу усилителя подключится головка записи.

В транзисторном усилителе записи выходной каскад строят, обычно, по схеме с общим эмиттером (рис. 58). Режим работы транзистора выбирают так, чтобы он с двух-трехкратным запасом обеспечивал ток в головке, соответствующей ее чувствительности.

Следует обращать особое внимание на подбор оптимального положения начальной рабочей точки, так как иначе нелинейные искажения могут стать больше чем 1%. При нормальном напряжении питания предпочитают выбирать параметры стабилизирующей цепи (R_5C_2), так чтобы подъем частотной характеристики усилителя на верхней частоте равнялся 4—6 *дб* ($\alpha<1$).

Наоборот, при ограниченном напряжении питания, например в миниатюрных магнитофонах, когда затруднено получение большого тока в головке записи, ограничительную цепь совсем исключают из схемы выходного каскада, зато увеличивают частотные предыскажения в предыдущих каскадах.

13. ЧАСТОТНЫЕ ПРЕДЫСКАЖЕНИЯ

Если при записи различных звуковых частот одинаково воздействовать со стороны записывающей головки на магнитную ленту, то по ряду причин остаточное намагничивание ее не будет одинаково. По мере повышения частоты намагничивание ленты будет ослабевать. Частотная характеристика $B_{ост}=\theta(f_{зап})$, полученная в таких условиях, имеет завал на высоких частотах. Величина завала зависит от рабочих свойств ленты, скорости ее движения, ширины и качества исполнения рабочего зазора головки записи, материала сердечника и режима записи, т. е. выбора тока подмагничивания.

Для полной компенсации этого завала нужен был бы значительный подъем на высоких частотах в характеристике усилителя воспроизведения, что привело бы к увеличению как высокочастотных шумов усилителя, так и шумов фонограммы. Чтобы уменьшить шумы, было бы выгодно посредством надлежащих частотных предыскажений в усилителе записи усиливать воздействие записывающей головки на ленту по мере роста частоты настолько, чтобы частотная характеристика фонограммы $B_{ост}=\theta(f_{зап})$ была горизонтальна или даже имела подъем в сторону высоких частот. Но это потребовало бы большого подъема в частотной характеристике усилителя записи и создало бы опасность перемагничивания (перемодуляции) ленты от высокочастотных составляющих записываемого сигнала. Хотя вопрос о рациональном распределении коррекции между усилителями записи и воспроизведения окончательно еще в принципе не разрешен, практически он нормирован существующими стандартами, оговаривающими характеристику канала воспроизведения, рассмотренную в § 7.

Поэтому выбирать частотные предыскажения при записи следует так, чтобы при воспроизведении полученной с помощью усилителя записи фонограммы через стандартный канал воспроизведения, выходное напряжение на всех частотах оставалось практически одинаковым, т. е. имело неравномерность, допускаемую стандартом или техническими условиями. Для этого в усилителе записи необходимо получать частотные характеристики, примерный вид которых приведен на рис. 59. Подмагничивание предполагается выбранным таким, что оно соответствует максимальной чувствительности ленты на средних частотах.

Так как ранее было установлено, что степень воздействия головки на ленту удобнее характеризовать током головки, то частотные

характеристики усилителя записи строят как зависимость тока головки $i_г$ от частоты при постоянстве э. д. с., действующей иа входе усилителя. На рис. 59 характеристики построены в логарифмических единицах, т. е. даны частотные зависимости величины:

$$20\ \lg \frac{i_{гf}}{i_{г1\,000}},$$

где $i_{гf}$ — ток головки на частоте f;
$i_{г1\,000}$ — тск на частоте 1 000 *гц*.

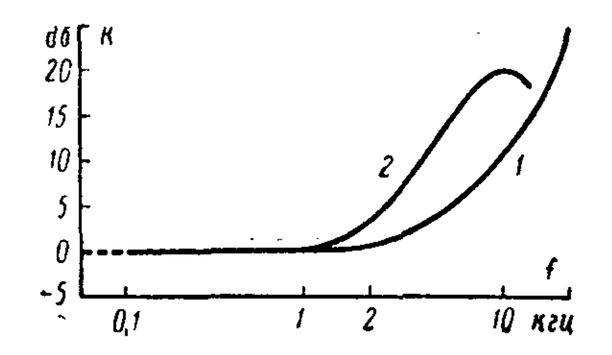


Рис. 59. Частотные характернстики усилителя записи для ряда практических случаев.

1 — скорость 381 *мм/сек*, лента типа 2, рабочий зазор головки записи 10 *мк*; *2* — скорость 190 *мм/сек*, лента типа 6, рабочий зазор 6 *мк*.

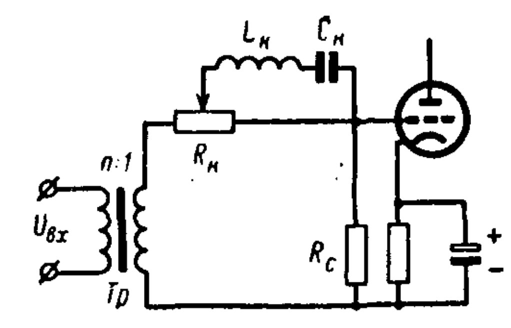


Рис. 60. Схема частотных предыскажений на выходе усилителя записи.

Из рис. 59 видно, что частотные предыскажения в усилителе записи заключаются в подъеме высоких частот. Приведенные характеристики отличаются друг от друга лишь частотой максимальиого подъема (равной верхией рабочей частоте) и величниой этого подъема.

Рассмотрим ряд схем, позволяющих получить в усилителе записи требуемую частотную характеристику.

На рис. 60 показана схема с предыскажениями на входе усилителя. Она пригодна для уснлителей запнси, работающих с линии и имеющнх на входе понижающий трансформатор Tp, так как в этом случае необходимо, чтобы пересчитанное сопротивление источника входного сигнала R_i/n^2 было намного меньше суммы сопротивлений резисторов $R_к+R_с$. Прн этом условии на низких и среднних частотах напряжение на сетке лампы будет:

$$U_{с.о}=\frac{U_{вх}}{n}\,\frac{R_с}{R_к+R_с},$$

а на резонансной частоте контура $L_кC_к$ и при максимальном предыскажении (крайнее левое положение регулятора предыскажений)

$$U_{с.в}=\frac{U_{вх}}{n},$$

что соответствует подъему частотной характеристики

$$M_в=\frac{U_{с.в}}{U_{с.о}}=\frac{R_к+R_с}{R_с}.$$

Так как обычио выбирают $R_к \gg R_с$, то

$$M_в\approx\frac{R_к}{R_с}, \qquad (44)$$

Последнее выражение позволяет выбрать величины $R_к$ н $R_с$ по заданному подъему частотной характеристики усилителя записи, Плавная регулировка предыскажений в этой схеме достигается перемещением ползуика потенциометра $R_к$. При этом контур $L_кC_к$ шунтирует большую нли меньшую его часть и оказывает соответствеино большее или меньшее влияние на ход частотной характеристики. Нужная форма характеристики (крутизна ее нарастания) может быть практически подобраиа путем выбора различных соотношений $L_к$ н $C_к$ при сохранении настройки контура на верхнюю рабочую частоту. Так, например, при меньшей индуктивностн контура подъем характеристики начнется с более низких частот и будет более плавным, чем при большей индуктивности.

Тот же принцип получения частотных предыскажений может осуществляться не на входе, а на выходе усилителя записи. Схема, соответствующая этому варианту, показана на рис. 61, *а*. Действие ее аналогнчно с изложенным для схемы на рис. 60 н поэтому не нуждается в дополнительных пояснениях. Рассчитаем величину максимального подъема частотной характеристики, который может быть получен прн этой схеме на резонансной частоте коитура коррекции $\omega_р$. Предположим, что выходное напряжение усилителя мало изменяется с частотой. Тогда ток в головке на низких и средних частотах

$$I_0=\frac{U_{вых}}{R},$$

а на частоте резонанса, когда сопротивление коитура весьма мало:

$$I_в=\frac{U_{вых}}{\omega_в\,(L_г+L_ф)},$$

отсюда

$$M_в=\frac{I_в}{I_0}=\frac{R}{\omega_в\,(L_г+L_ф)}. \qquad (45)$$

Как видно из этой формулы, величина предыскажений пропорциональна сопротивлению R. Поэтому его приходится выбирать значительно большим, чем это необходимо по формуле (32) для стабилизации нагрузкн уснлителя записи. Получить предыскажения в этой схеме более 15 *дб* практически ие удается, так как для этого нужно слишком большое сопротивление R (8—10 *ком*) и выходное напряжение около 20 *в*. Прн этих условиях трудно добиться малых нелинейных искажений в выходном каскаде.

В рассматриваемой схеме, так же как и в схеме, приведениой на рис. 60, часто бывает полезно для получения характеристикн иужиой формы иастраивать контур $L_кC_к$ не на верхнюю рабочую частоту, а на несколько более высокую. Необходимость в этом устанавливается экспериментально.

В обеих схемах (рис. 60 и 61, *а*) контур $L_кC_к$ может быть заменен одним конденсатором. Однако максимальный подъем, который может быть достигнут прн сохранении благоприятной формы характеристики, не превышает в этом случае 5—8 *дб*.

Другая схема частотной коррекции в выходной цепи усилителя записи приведена иа рис. 61, *б*. Индуктивность головки записи $L_г$ и катушки фильтра-пробки $L_ф$ в сочетании с емкостью конденсатора $C_к$ образуют в этой схеме параллельный колебательный контур, настраиваемый на верхнюю рабочую частоту $\omega_в$. Из-за резонанса токов на этой частоте достигается подъем частотной характеристики усилителя, равный:

$$M_в = \frac{\omega_р (L_г + L_ф)}{r + \frac{\omega_в^2 (L_г + L_ф)^2}{R}}, \qquad (46)$$

где R, $L_г$ и $L_ф$ — данные схемы;

r — активное сопротивление катушки фильтра и записывающей головки.

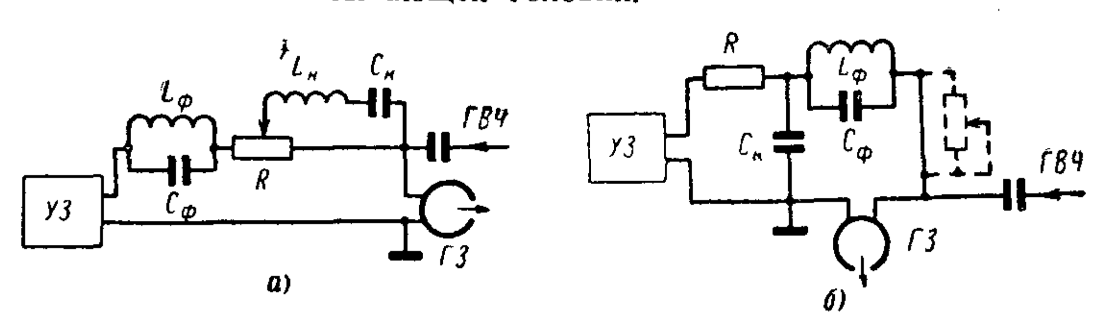


Рис. 61. Схемы частотных предыскажений на выходе усилителя записи.

Для регулирования подъема частотной характеристики в этой схеме последовательно с головкой включают переменный резистор с небольшим сопротивлением (показан на схеме пуиктиром), который, не изменяя практически тока подмагничивания, изменяет величину $M_в$, так как входит в сопротивление r в формуле (46).

Недостаток всех схем с частотными предыскажениями в выходной цепи заключается в зависимости величины предыскажений от индуктивиости и сопротивления потерь записывающей головки. Поэтому при смене головки приходится подстраивать схему.

Переходим к схемам, осуществляющим предыскажения во внутренней части усилителя записи. Наиболее распространенные из них — схемы с частотно-зависимой обратной связью. В схеме на рис. 62 ослабление обратной связи в сторону высоких частот достигается благодаря действию двойного Т-образного RC-моста, включенного в цепь обратной связи, охватывающей выходной и предокоиечный каскады усилителя.

Как видно из рисунка, этот мост состоит из двух Т-образных ячеек, соединенных параллельно как со стороны входа, так и со стороны выхода. Одиа ячейка типа RCR создает на резисторе обратной связи $R_{о.с}$ напряжеиие, умеиьшающееся с частотой и отстающее по фазе относительно анодного напряжения выходного каскада. Вторая ячейка типа CRC противоположна по своему действию первой. Передаваемое через нее напряжение обратной связи опережает по фазе анодное напряжение и растет по мере увеличения частоты.

При том соотношении между величинами отдельных деталей моста, которое показано на схеме, на частоте $\omega_р = 1/RC$ возникает уравиовешивание действия обеих ячеек. На этой частоте результирующее напряжение обратной связи минимально, а его фаза совпадает с фазой аиодного напряжения выходного каскада. Соответственно на этой частоте усиление получается наибольшим. Регулировать частотную характеристику можно путем изменения сопротивления резистора $R_к$ или путем расстройки моста, для чего резистор $R/2$ делают переменным.

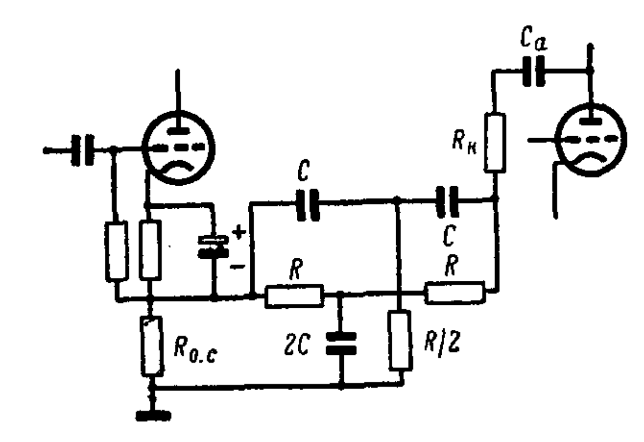


Рис. 62. Схема частотных предыскажений в усилителе записи с двойным Т-образным мостом.

Двойной Т-образный мост эквивалентен по своему действию колебательному контуру весьма большой добротности, но в отличие от него коиструктивио проще, так как не требует катушки индуктивности. Недостаток схемы заключается в возможности возбуждения усилнтеля. Поэтому ее не следует применять для получения подъема частотной характеристики, большего чем +12÷15 *дб*.

Более устойчива схема с колебательным контуром в цепи обратной связи. Два варианта ее показаны на рис. 63.

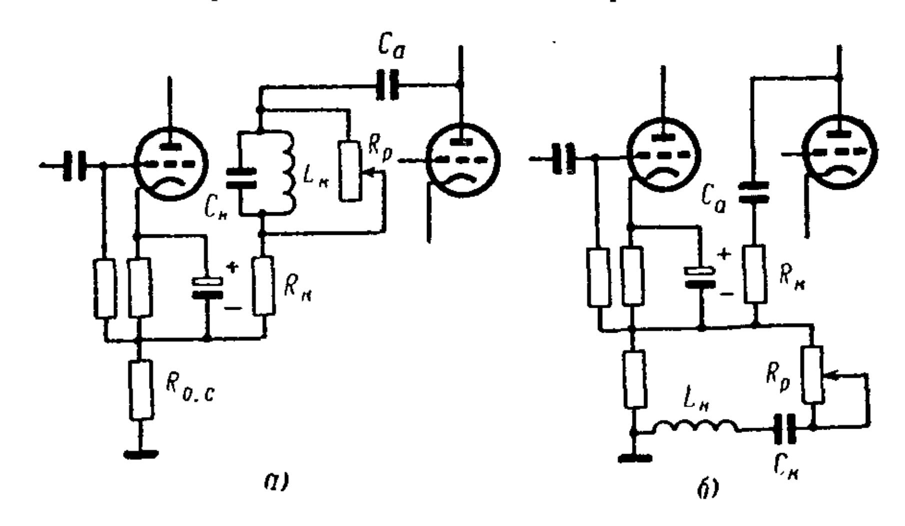


Рис. 63. Схемы частотных предыскажений в усилителе записи с параллельным (*а*) и последовательным (*б*) контуром в цепи обратной связи.

Как и в предыдущей схеме, обратная связь охватывает здесь два последних каскада. Из-за действия контура $L_к C_к$, настроенного на верхнюю рабочую частоту, обратная связь ослабляется по мере приближения к этой частоте, а усиление возрастает. Получение необходимой формы частотной характеристики достигается подбором соотношения между $L_к$ и $C_к$, а также сопротивления резистора $R_к$, которое изменяет глубину обратной связи. Оперативная регулировка коррекции в обеих схемах производится переменным резистором $R_р$, подключенным к контуру. Емкость разделительного конденсатора $C_а$

должна быть достаточно большой, чтобы не создавать подъема характеристики на низких частотах.

Схемы усилителей записи с частотно-зависимой обратной связью нашли широкое применение не только потому, что они позволяют несложно получить все требующиеся на практике формы частотных характеристик, но и потому, что одновременно они уменьшают из-за действия обратной связи нелинейные искажения.

Что же касается сопутствующего этим схемам увеличения собственных помех усилителя из-за положительной обратной связи по пульсациям анодного напряжения, то, как уже указывалось, в усилителях записи этот вопрос стоит не так остро, как в усилителях воспроизведения, и не может поэтому рассматриваться как недостаток схем.

В заключение укажем, что в усилителях записи можно применять и схему коррекции с колебательным контуром в анодной цепи лампы, аналогичную схеме, приведенной применительно к усилителю воспроизведения на рис. 31, с той лишь разницей, что подъема низких частот здесь не требуется и поэтому элементы $C_к$ и $R_к$ надо исключить.

Глава четвертая

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

14. КЛАССИФИКАЦИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ

В гл. 1 рассмотрено несколько блок-схем магнитофонов, содержащих в своем составе универсальные усилители. Эти схемы были приведены на рис. 3, 5 и 6. Из них можно заключить, что назначение универсальных усилителей, а соответственно и требования, предъявляемые к ним, не остаются постоянными, а меняются в зависимости от блок-схемы. При этом возможны три варианта:

1. Универсальный усилитель, работающий при воспроизведении непосредственно от воспроизводящей головки, а при записи — от источника низкой частоты и нагруженный при воспроизведении на громкоговоритель (или его эквивалент), а при записи, кроме того, и на цепь записывающей головки. В таком усилителе при переходе с записи на воспроизведение частотная характеристика должна изменяться путем изменения схемы коррекции внутри самого усилителя.

2. Универсальный усилитель, отличающийся от первого тем, что при записи необходимая частотная характеристика достигается не в схеме усилителя, а благодаря подключению записывающей головки к выходу усилителя через частотный предыскажитель.

3. Универсальный усилитель, имеющий все особенности, указанные во втором варианте, но отличающийся еще и тем, что при воспроизведении он получает входное напряжение не от головки, а с выхода отдельного усилителя воспроизведения. При этом понятно, что никакой неравномерности частотной характеристики в универсальном усилителе ни при записи, ни при воспроизведении не требуется.

Из этих трех вариантов универсального усилителя интерес представляют первый и второй варианты, так как в третьем варианте сам усилитель служит обычным усилителем низкой частоты, а частотный предыскажитель не отличается от применяемого во втором варианте. Поэтому третий вариант рассматриваться не будет.

15. ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ УСИЛИТЕЛЯ

Начнем рассмотрение первого варианта универсального усилителя с выбора его выходной мощности и чувствительности. В режиме воспроизведения усилитель должен развивать мощность, достаточную для нормальной работы находящегося в магнитофоне громкоговорителя. Обычно максимальную мощность устанавливают от 1 до 3 *вт*. В режиме записи мощность может считаться неизменной, так как громкоговоритель или остается включенным, или заменяется своим эквивалентом, а потребление энергии цепью головки записи ничтожно. Таким образом, выходная мощность определяется работой универсального усилителя в условиях воспроизведения.

Чувствительностью усилителя называется входное напряжение, при котором достигается его максимальная выходная мощность при условии, что регулятор усиления находится в положении, соответствующем максимальному усилению. Поскольку выходная мощность универсального усилителя одинакова и в режиме записи, и в режиме воспроизведения, чувствительность его должна выбираться по минимальному входному напряжению, получаемому усилителем в этих рабочих режимах. При записи из всех применяемых источников низкой частоты наименьшее напряжение развивает микрофон. Обычно для упрощения схемы универсального усилителя, чтобы в нем не было входного микрофонного трансформатора, применяют высокоомные микрофоны, т. е. те, которые имеют повышающий трансформатор. Такие микрофоны (например, МД-41) развивают э. д. с. 3—4 *мв*. При воспроизведении на вход усилителя на низшей рабочей частоте подается э. д. с. от воспроизводящей головки, примерно 0,5 *мв*, т. е. во много раз меньше, чем при записи. Это еще усугубляется тем, что обычно при воспроизведении в схеме универсального усилителя начинает действовать регулятор тембра, снижающий коэффициент усиления по сравнению с усилением при записи. Таким образом, чувствительность универсального усилителя следует выбирать также исходя из условий его работы в режиме воспроизведения.

Следующий важный вопрос — тип и количество магнитных головок, совместно с которыми работает усилитель, а также способ подключения их к нему. Практически используют либо одну универсальную головку, работающую то как воспроизводящая, то как записывающая, либо две головки, из которых одна записывающая, а другая высокоомная воспроизводящая. Низкоомная воспроизводящая головка, как правило, в магнитофонах с универсальным усилителем не встречается, так как это простые и недорогие магнитофоны, а при низкоомной головке необходим сложный входной трансформатор.

Преимущество использования одной универсальной головки состоит в несколько меньшей стоимости магнитофона и сокращении габаритов лентопротяжного механизма, а также в некотором упрощении настройки магнитофона, так как в этом случае не надо уста-

навливать рабочие зазоры головок записи и воспроизведеиия параллельно друг другу; положение универсальной головки достаточно установить только в режиме воспроизведения по измерительной ленте (строго говоря, это не совсем точно, но практически приемлемо).

Во всем остальном все преимущества на стороне варианта с раздельными головками записи и воспроизведения. Действительно, униве рсальная головка, как и всякое универсальное устройство, не может одинаково хорошо работать и как записывающая, и как воспроизводящая, так как противоречивые требования, предъявляемые к головке в этих двух случаях, должны решаться компромиссно. Для воспроизводящей головкн рабочий зазор должен быть по возможности узким, в то время как при записи более благоприятен зазор с шириной, равной толщине рабочего слоя. Для воспроизводящей головки необходима обмотка с возможно большим числом витков, а в заднем стыке обеих половин ее сердечника не должно быть зазора. Только при этих условиях чувствительиость головки будет достаточной. Для записывающей же головки, наоборот, необходим дополнительный зазор, чтобы уменьшить остаточное намагничивание сердечника в процессе записи и желательна обмотка с умеренным числом витков. При большом количестве витков индуктивность записывающей головки стаиовится большой, и для подмагничивания леиты необходимо подавать на головку очень большое напряжеиие от генератора высокой частоты, что усложняет конструкцию контура генератора.

В универсальной головке эти противоречивые требования решаются тем, что число витков выбирают так, чтобы индуктивность головки была около 1 *гн*, а в ее сердечнике делают небольшой дополнительный зазор.

Чувствительность универсальиой головки при воспроизведеиии ниже, чем высокоомной воспроизводящей, следовательно, потребуется большее усиление и будет хуже перекрытие помех усилителя. Напряжение подмагничивания универсальной головки больше, чем у записывающей, поэтому геиератор высокой частоты при ней сложнее. Некоторый выход из этого положения представляет устройство отвода от обмотки универсальной головки для использования только части ее при записи.

В универсальном усилителе с разными головками намного упрощается коммутация при переходе с записи на воспроизведение. Используя известное нам обстоятельство, что в режиме воспроизведения чувствнтельиость усилителя должиа быть намиого выше, чем при записи, можно воспроизводящую головку включить ко входу первого каскада усилителя, а источники низкой частоты при записи подключать ко второму каскаду, отключая его прн этом от первого. Тогда вся коммутация переносится в сеточиую цепь лампы второго каскада, где полезный сигнал больше и где не так опасно действие помех на цепи коммутации (пластины и коитакты переключателя или реле).

В случае применения одной универсальной головки приходится прибегать к специальным приемам борьбы с самовозбуждением через коммутационные цепи. Для пояснения этого рассмотрим схему коммутации, показаиную на рис. 64, *а*. Практически эта схема работать ие может, так как к переключателю $П_2$ постоянно подведеиы вход и выход универсального усилителя и через неизбежно существующую в нем межконтактиую емкость возиикает обратная связь, что

приводит к самовозбуждению усилителя. В схеме на рис. 64, *б* эта обратная связь ослабляется из-за последовательного включения межконтактных емкостей обоих переключателей $П_1$ и $П_2$, но ослабляется все же недостаточно. Поэтому приходится схему коммутации еще усложнять, вводя дополнительные контактные пары $П_3$ и $П_4$ (рис. 64 *в*), которые заземляют коммутационные цепи, не использующиеся при даниом режиме работы, но могущие служить каналом для паразитной обратной связи.

Сравнеиие вариантов с одиой и двумя головками приводит к выводу о большей целесообразности использования раздельиых головок записи и воспроизведения, если только установка двух головок допускается конструкцией лентопротяжного механизма, и, кроме того, к стоимости магнитофона ие предъявляются очень жесткие требования.

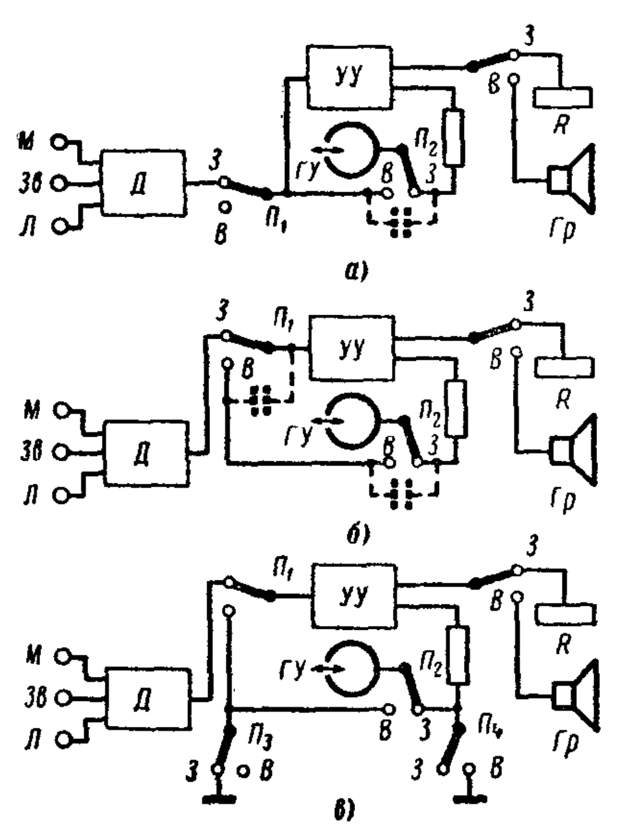


Рис. 64. Три варианта схемы коммутацни универсального усилителя.
З — запись; *В* — воспроизведение.

При воспроизведении универсальная (или воспроизводящая) головка во всех случаях подключается ко входу первого каскада универсального усилителя. Что же касается режима записи, то встречаются схемы с подключением головки как к аноду лампы выходного, так и к аноду лампы предоконечного каскадов.

Последнее предпочтительней, так как нелинейные искажения после предоконечного каскада меньше, чем после выходиого, и запись поэтому получается более высокого качества. Для того чтобы был достаточно полиоценный громкоговорящий контроль при записи, не следует во время нее снижать выходную мощность, хотя это и позволило бы уменьшить нелинейные искажения. Выходная мощность при записи остается примерно та же, что и при воспроизведении.

Головка записи подключается к аиоду лампы через разделительный кондеисатор и стабилизирующий резистор сопротивлением R, величина которого определяется по формуле

$$R = \frac{U_{a\sim}}{\sqrt{2}\, i_{г}}, \tag{47}$$

где $U_{a\sim}$ — максимальная амплнтуда переменного напряжения на аноде лампы;
$i_{г}$ — чувствительность головки записи.

Чтобы не нарушить режим работы лампы, сопротивление резистора R должно быть в 4—5 раз больше основного нагрузочного, что соответствует выполнению следующего условия:

$$i_{\text{г}} U_{\text{а}\sim} \leqslant \frac{P_{\text{вых}}}{2\sqrt{2}}, \qquad (48)$$

где $P_{\text{вых}}$ — максимальная полезная мощность, развиваемая в анодной нагрузке той лампы, к которой предполагают подключить цепь головки записи.

Уравнение (48) позволяет решить вопрос о возможности подключения данной головки $i_{\text{г}}$ к анодной цепи лампы того или иного каскада, а уравнение (47) дает возможность рассчитать сопротивление стабилизирующего резистора. Так как обычно это сопротивление получается весьма большим (десятки килоом), то в универсальном усилителе не применяют фильтр-пробку. При параллельной схеме смешения токов звуковой частоты и подмагничивания резистор R сам создает достаточную защиту усилителя от высокой частоты (рис. 65).

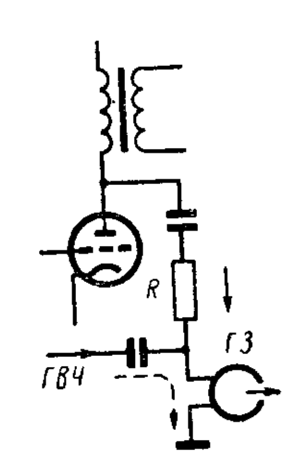


Рис. 65. Параллельная схема смешения токов звуковой частоты и подмагничивания в универсальном усилителе.

Переходим к качественным показателям универсального усилителя, т. е. к допустимым собственным помехам и нелинейным искажениям и требуемой частотной характеристике.

Универсальный усилитель как объединяющий в себе функции усилителей записи и воспроизведения должен, очевидно, в отношении качественных показателей удовлетворять требованиям предъявляемым к ним обоим. В определении допустимого отношения сигнал/помеха более трудными для выполнения являются требования, предъявляемые к усилителям воспроизведения, поэтому их и следует принять для универсальных усилителей. Все сказанное по этому поводу в гл. 2 для усилителей воспроизведения справедливо и для универсального усилителя. Что касается нелинейных искажений, то они, к сожалению, не могут быть получены столь малыми, как это требуется для усилителей записи и воспроизведения из-за значительно большей выходной мощности универсального усилителя. С этим приходится мириться, допуская при максимальной выходной мощности коэффициент нелинейных искажений универсального усилителя не более 2—2,5%. Меры по снижению нелинейных искажений — обычные для усилителей низкой частоты и состоят в правильном выборе режима ламп и применении отрицательной обратной связи.

Частотная характеристика универсального усилителя при записи должна быть такой, какая требуется для усилителя записи, а при воспроизведении должна соответствовать характеристике усилителя воспроизведения. Если при воспроизведении в схему включается регулятор тембра, то необходимая для нормального воспроизведения характеристика должна получаться при некотором среднем положении этого регулятора. Частотную характеристику усилителя изменяют путем перехода с одной из тех схем, которые были рассмотрены применительно для усилителей воспроизведения, на одну из тех схем, которые применяются в усилителе записи. Такой переход происходит с помощью многоконтактного переключателя вида работ, который может иметь два или больше положений (например, «запись — воспроизведение» или «запись с микрофона, звукоснимателя, линии — воспроизведение»).

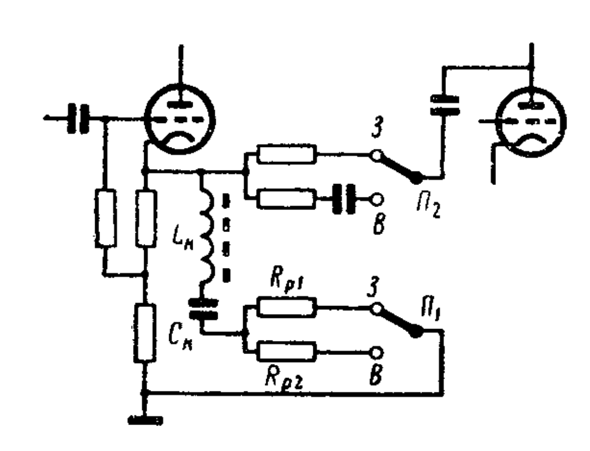


Рис. 66. Схема изменения частотной характеристики в первом варианте универсального усилителя.

З — запись; *В* — воспроизведение.

Комбинируя различные схемы предыскажений усилителей записи со схемами коррекции усилителей воспроизведения, можно построить большое число схем, пригодных для универсального усилителя. Не рассматривая здесь всех схем, укажем лишь, что наиболее экономичны (по количеству необходимых деталей и количеству переключений) схемы с частотно-зависимой обратной связью.

Одна из таких схем показана на рис. 66, где изображены два каскада универсального усилителя (обычно второй и третий). Изменение частотной характеристики осуществляется переключателями $П_1$ и $П_2$, расположенными на одной оси. Как видно, при записи образуется схема предыскажений, рассмотренная ранее на рис. 63, *б*, а при воспроизведении — схема коррекции, приведенная на рис. 33, *б* для усилителя воспроизведения. Для раздельной регулировки подъема высоких частот при записи и при воспроизведении служат два резистора ($R_{\text{р1}}$ и $R_{\text{р2}}$).

16. ВТОРОЙ ВАРИАНТ УСИЛИТЕЛЯ

Как уже рассматривалось в начале главы, основное отличие второго варианта универсального усилителя от первого состоит в том, что необходимая частотная характеристика записи формируется не в самом усилителе, а в частотном предысказителе, включенном между выходом усилителя и головкой записи. Частотная характеристика универсального усилителя при воспроизведении должна соответствовать характеристике усилителя воспроизведения, а при записи должна быть возможно ближе к горизонтальной прямой.

В первую очередь рассмотрим специфичные для данного варианта схемы частотных предысказителей, наиболее распространенные из которых приведены на рис. 67. При этом нетрудно заметить, что они сходны со схемами частотных предысказителей в выходных цепях усилителя записи. Так, например, схема на рис. 67, *б* аналогична схеме на рис. 61, *а*, а схема на рис. 67, *в* — схеме на рис. 61, *б*. Эти схемы были уже разобраны, поэтому принцип их действия подробно рассматриваться не будет.

Частотные предысказители имеют большое сопротивление стабилизирующего резистора R. Это позволяет в приведенных схемах (кроме схемы на рис. 67, *в*) обойтись без фильтра-пробки.

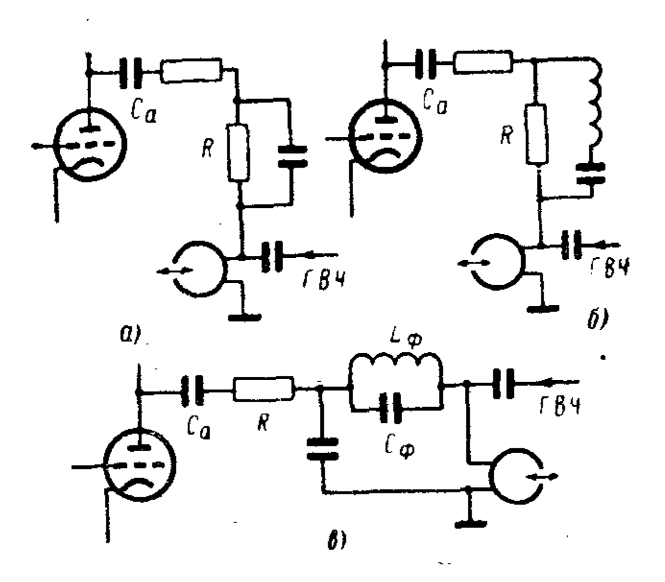


Рис. 67. Три варианта схем частотных предыскажений.

Схема на рис. 67, *а* позволяет получить подъем характеристики на верхней рабочей частоте не более 6—8 *дб* (при дальнейшем увеличении предыскажений форма характеристики становится неблагоприятной). Схема на рис. 67, *б* обладает наибольшими возможностями коррекции; ее можно применять при любых скоростях ленты.

Поскольку во втором варианте универсального усилителя в самом усилителе необходима только частотная коррекция при воспроизведении, она может быть выполнена по тем схемам, которые были рассмотрены для усилителей воспроизведения. При переходе на запись корректирующие элементы должны выключаться.

На рис. 68 в качестве примера показана одна из возможных схем. Она аналогична схеме коррекции в усилителе воспроизведения приведенной на рис. 28. При переводе переключателя $П_1$ в положение «Запись» сигнал на сетку лампы второго каскада поступает, минуя цепи коррекции.

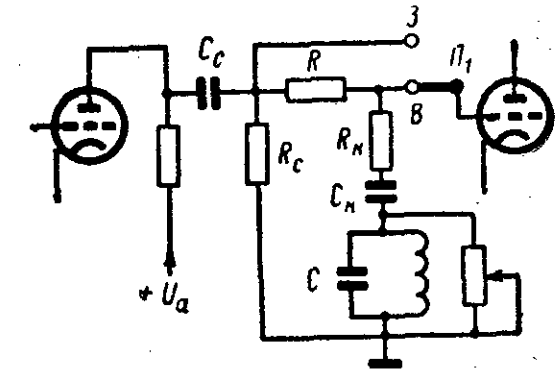


Рис. 68. Схема изменения частотной характеристики во втором варианте универсального усилителя.

З — запись; *В* — воспроизведение.

Все остальные показатели, влияющие на выбор схемы универсального усилителя (выходная мощность и чувствительность, допустимые отношения сигнал/помеха коэффициент нелинейных искажений), во втором варианте не отличаются от первого, и все сказанное по этому вопросу в отношении первого варианта остается в силе и для второго.

Глава пятая

ГЕНЕРАТОРЫ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

17. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ТРЕБОВАНИЯ

Генераторы высокой частоты магнитофонов строят по схемам, принципиально известным в радиотехнике, но они имеют ряд специфических особенностей, отличающих их, например, от генераторов в измерительной аппаратуре или в радиопередатчиках. Здесь мы остановимся на этих особенностях, а также на требованиях, предъявляемых к таким генераторам.

Генераторы высокой частоты в магнитофонах предназначены для стирания и подмагничивания ленты во время записи. В более простых и дешевых магнитофонах и то и другое происходит от одного общего генератора с частотой около 60 *кгц*. В аппаратах, предназначенных только для записи речи (диктофонах), эта частота может быть понижена до 25—30 *кгц*, что, как будет видно далее, позволяет уменьшить полезную мощность генератора.

В стационарных магнитофонах, рассчитанных на высокое качество записи, частоту подмагничивания желательно брать больше (120—180 *кгц*), так как это снижает шум фонограммы и ослабляет комбинационные тона при записи высоких звуковых частот. Делать общий генератор для стирания и подмагничивания на такую частоту нецелесообразно, так как из-за потерь в головке стирания мощность генератора должна быть намного увеличена.

В подобных случаях прибегают обычно к двум раздельным генераторам: одному с частотой $f_с = 50 \div 60$ *кгц* (для стирания) и второму с частотой $f_п = 170 \div 180$ *кгц* (для подмагничивания).

Для избежания биений между колебаниями обоих генераторов и их гармониками и записи разностного тока на ленту необходимо, чтобы частоты $f_с$ и $f_п$ удовлетворяли следующему условию:

$$f_п \geqslant 3f_с + 20, \qquad (49)$$

где $f_с$ и $f_п$ — частоты, *кгц*.

Другой способ состоит в том, что для подмагничивания используется вторая гармоника генератора стирания, и тогда отдельного генератора подмагничивания не делают. Соответствующая этому схема будет рассмотрена ниже.

Большинство генераторов в магнитофонах строится по схемам с самовозбуждением. Схемы с независимым возбуждением в настоящее время встречаются очень редко. Это объясняется главным образом тем, что жесткие требования к стабильности частоты генератора здесь не нужны. Так, например, для магнитофонов вполне достаточна стабильность частоты около 5%.

Полезная мощность, которую должен отдавать генератор, зависит от частоты колебаний и типа головки стирания. Например, при типовой головке С-02 с пермаллоевым сердечником шириной 7 *мм* и частоте стирания 60 *кгц* мощность, потребляемая головкой, приблизительно равна 3 *вт*. Мощность же подмагничивания меньше и при той же частоте составляет примерно 0,1 *вт*. При другой частоте потребляемая мощность изменяется приблизительно пропорционально квадрату частоты. Отсюда понятно, насколько невыгодно повышать частоту стирания. Мощность, потребляемая головкой при прочих равных условиях, пропорциональна ширине сердечника, поэтому стирающие головки, используемые при более узких дорожках записи, потребляют пропорционально меньшую мощность.

В последнее время получили распространение стирающие головки с ферритовым сердечником и слюдяной прокладкой в рабочем зазоре. Потребляемая ими мощность намного меньше, чем у головок с металлической прокладкой и металлическим сердечником.

Весьма жесткие требования к генератору предъявляют в отношении симметричности формы колебаний. Возбуждаемые в генера-

торе высокочастотные колебания могут быть не синусоидальными (например, иметь форму прямоугольных импульсов), но должны быть обязательно симметричными. Особенно это относится к отдельному генератору подмагничивания и общему генератору, так как асимметрия в подмагничивании даже около 1% увеличивает шум фонограммы примерно на 4 *дб*. Поскольку асимметрия формы создается только четными гармониками основного колебания, то отсюда вытекает требование к генератору — отсутствие четных гармоник на его выходе.

Излучение энергии генератора во внешнее пространство и в сеть переменного тока должно быть сведено к минимуму, так как иначе будет проявляться мешающее воздействие магнитофона на расположенные вблизи радиоприемники. Следует также ослаблять воздействие генератора внутри самого магнитофона на усилитель.

18. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ЛАМПОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

По принципиальным схемам генераторы высокой частоты магнитофонов можно разделить на однотактные и двухтактные. Однотактные генераторы используются главным образом в диктофонах и бытовых магнитофонах. Получить симметричную форму колебаний в них сравнительно трудно. Двухтактные генераторы не создают четных гармоник, а следовательно, и не имеют асимметрии в возбуждаемых колебаниях. Поэтому они наиболее распространены в магнитофонах профессионального применения.

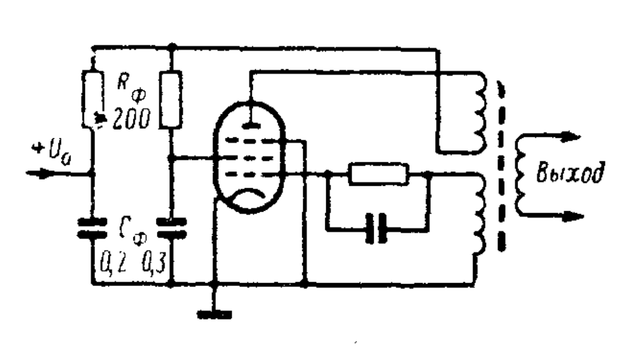


Рис. 69. Схема однотактного генератора.

На рис. 69 приведена схема однотактного генератора. Она может быть построена на пентоде 6П6С или на половине двойного триода 6Н8С, а также на 6Н1П. В последнем случае из-за малой допустимой мощности рассеивания на аноде колебательная мощность генератора получается небольшой, что приводит к недостаточно хорошему стиранию записи.

Однотактная схема широко известна и поэтому не нуждается в дополнительных пояснениях. Отметим лишь, что анодный фильтр $R_фC_ф$, устанавливаемый в непосредственной близости от остальных деталей генератора, предназначен для предотвращения попадания тока высокой частоты в источник анодного питания магнитофона, а оттуда — в усилитель.

На рис. 70, *а* показана схема двухтактного генератора с индуктивной связью. Для этой схемы характерно наличие в катоде лампы резистора обратной связи по току $R_к$. Благодаря ему в значительной степени уменьшается асимметрия, возникающая из-за неизбежного различия половин схемы. В отношении второй гармоники обратная связь через резистор $R_к$ оказывается отрицательной для того триода, где она сильнее, и положительной для триода с более слабо выраженной второй гармоникой. В результате происходит автоматическое выравнивание половин схемы, чем и достигается очень хорошая симметрия формы высокочастотных колебаний на выходе. Так как в общей цепи питания двухтактного генератора практически нет первой гармоники анодных токов, колебательная мощность при включении резистора $R_к$ уменьшается незначительно только в результате снижения анодного напряжения на величину падения постоянного напряжения на резисторе $R_к$.

Следующая схема (рис. 70, *б*) представляет собой также двухтактный генератор, но с емкостной связью. Преимущество такой схе-

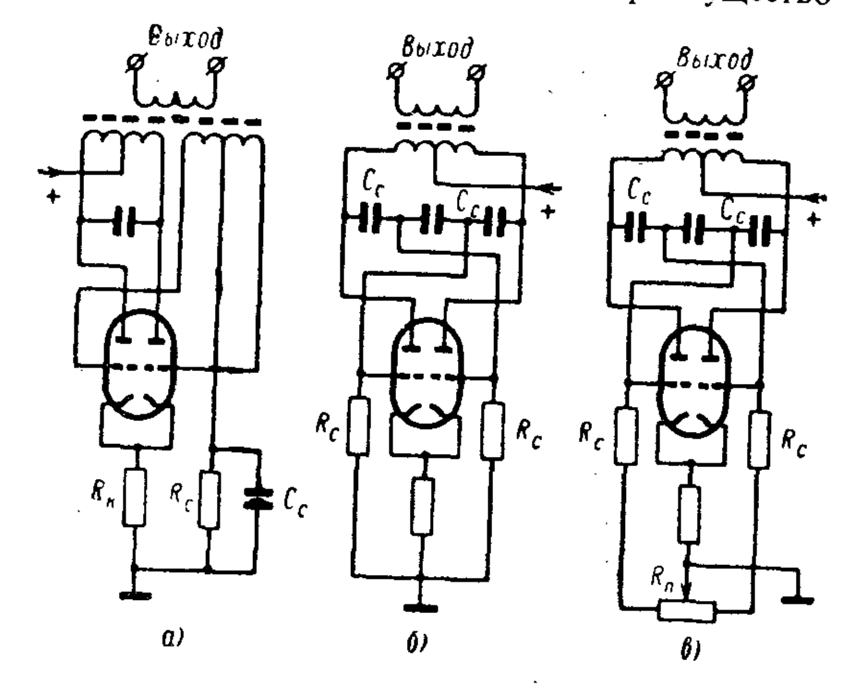


Рис. 70. Схемы двухтактных генераторов.

а — с индуктивной связью; *б* — с емкостной связью; *в* — с емкостной связью и регулировкой симметрии.

мы заключается в отсутствии обмотки обратной связи и, следовательно, меньших габаритах высокочастотного контура. Кроме того, чем меньше габариты, тем меньше наводки на контур со стороны источников фона в магнитофоне (трансформатор питания, электродвигатель) и меньше опасность попадания этим путем фона в головки записи и стирания. Недостаток схемы заключается в несколько большей асимметрии формы высокочастотных колебаний из-за невозможности практически точно подобрать одинаковые емкости конденсаторов связи.

В схеме на рис. 70, *в* этот недостаток устранен благодаря введению регулятора симметрии $R_п$. Перемещая ползунок регулятора, можно изменять в некоторых пределах сеточное смещение: при увеличении напряжения смещения на одном триоде смещение на втором уменьшается. Наилучшее положение ползунка регулятора устанавливают по наименьшему шуму фонограммы в паузе записи.

Эта схема может дать очень хорошие результаты в отношении симметричности колебаний, однако работает она не очень устойчиво и нуждается в подстройке. Объясняется это тем, что данная схема относится к числу схем компенсационного типа, в которых нежелательный эффект (в данном случае асимметрия половин схемы) не устраняется, а компенсируется искусственно создаваемым эффектом

того же характера, но с обратным знаком. При этом всякое изменение питающего напряжения может нарушить баланс схемы и поэтому вызывает необходимость ее подстройки.

Известна схема, в которой для устранения асимметрии подмагничивания в обмотку записывающей головки посылается небольшой постоянный ток. Направление этого тока выбирают противоположным направлению асимметрии. Однако и эта схема компенсационная и ей присущи указанные недостатки. Поэтому применять схемы

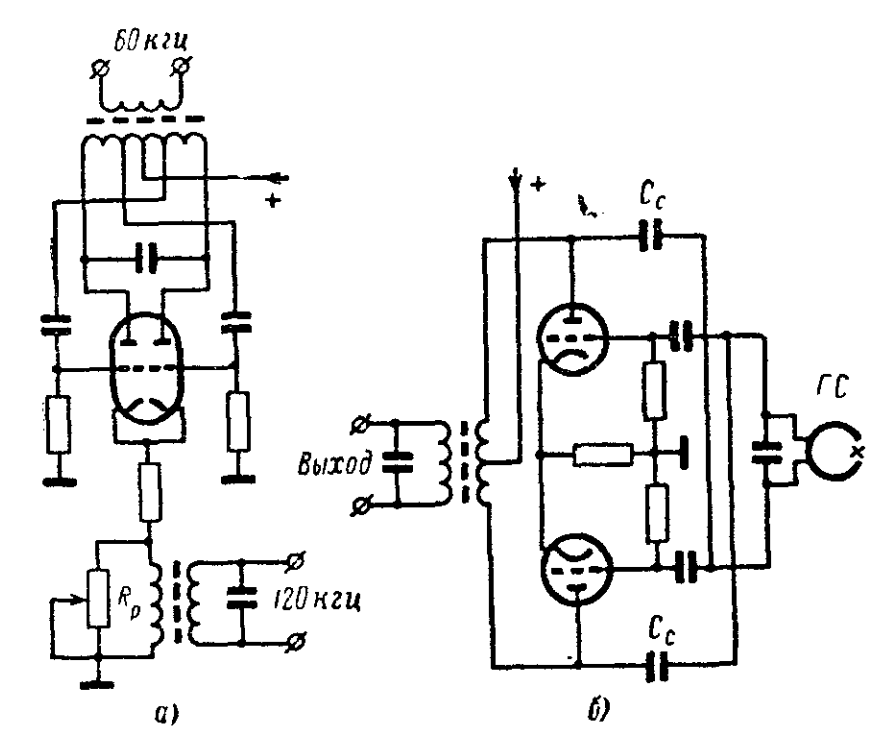


Рис. 71. Схемы двухтактных генераторов с использованием второй гармоники для подмагничивания.

с регулировкой симметрии компенсационным методом можно, главным образом, в лабораторных установках, например при испытании лент, когда подстройка генератора не вызывает особых неудобств.

На рис. 71, *а* изображена схема двухтактного генератора с автотрансформаторной связью. Она сочетает в себе преимущества схем, показанных на рис. 70, *а* и *б*, так как в ней не требуется отдельной обмотки обратной связи, а напряжение возбуждения на сетках лампы может быть установлено более точно, чем при емкостной связи, потому что оно определяется лишь местом подключения отвода к контурной катушке.

Главная особенность этой схемы (уже не связанной с выбором способа подачи обратной связи) состоит в использовании второй гармоники анодного тока для получения более высокой частоты подмагничивания. Основная частота генератора 55—65 *кгц* используется для стирания записи. В цепь катодов лампы включен резистор $R_р$ сопротивлением в несколько тысяч ом. Переменное напряжение на этом резисторе содержит в основном вторую гармонику, которая отфильтровывается при помощи резонансного трансформатора. Получаемое на выходе трансформатора напряжение с частотой 110—130 *кгц* используется для подмагничивания ленты. Изменяя сопротивление резистора $R_р$, можно регулировать напряжение подмагничивания. Когда напряжение на выходе резонансного трансформатора оказывается недостаточным, для подмагничивания между ним и записывающей головкой включают усилительный каскад с контуром в анодной цепи, настроенным на частоту подмагничивания. Этот контур, так же как и резонансный трансформатор, не должен иметь слишком узкой полосы пропускания. В противном случае нестабильность частоты колебаний основного генератора будет вызывать непроизвольные изменения тока подмагничивания.

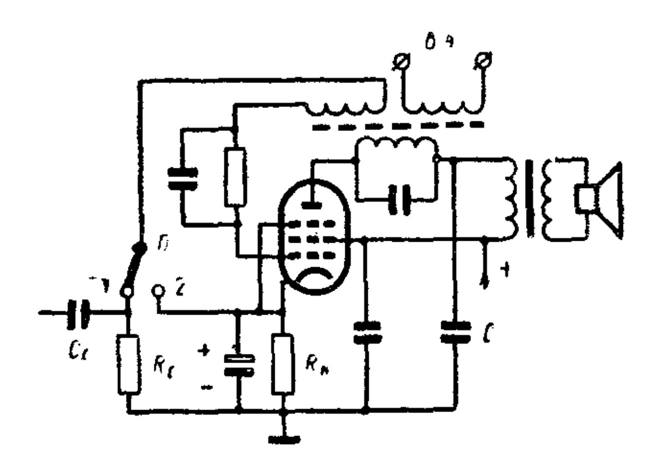


Рис. 72. Схема генератора, совмещенного с выходным каскадом универсального усилителя.

Вариант схемы с емкостной и автотрансформаторной связью представляет собой схема генератора, изображенная на рис. 71, *б*. Для упрощения в ней функцию катушки контура выполняет стирающая головка *ГС*. Величину обратной связи можно подбирать изменением емкости конденсаторов $C_с$. Высокочастотное напряжение для подмагничивания снимается через резонансный трансформатор, настроенный на основную частоту колебаний. Это улучшает форму напряжения подмагничивания, делает ее более симметричной.

В заключение рассмотрим одну из возможных схем совмещения генератора высокой частоты с выходным каскадом универсального усилителя, о чем упоминалось в гл. 1. Такая схема приведена на рис. 72. В положении *1* переключателя *П* схема работает как выходной каскад усилителя. При этом возникновение высокочастотных колебаний не происходит из-за того, что на управляющую сетку лампы подается значительное напряжение смещения с резистора $R_к$. В положении *2* переключателя схема отсоединяется от предыдущих усилительных каскадов, начальное смещение на управляющей сетке лампы становится равным нулю и в схеме возникают колебания. Для прохождения высокочастотной составляющей анодного тока включен конденсатор *С*, шунтирующий выходной трансформатор. Емкость его должна быть, однако, не настолько большой, чтобы при работе каскада в усилительном режиме вызывать ослабление усиления на верхних звуковых частотах.

19. ПОДКЛЮЧЕНИЕ ГОЛОВОК ЗАПИСИ И СТИРАНИЯ К ГЕНЕРАТОРУ

Существует несколько схем подачи напряжения стирания и подмагничивания от генератора к головкам. Первая из них трансформаторная с обмоткой связи, намотанной на общем сердечнике с контуром генератора, приведена на рис. 73, *а*. Подстроечный конденсатор C_1 служит для регулировки подмагничивания. Конденсатор C_2 ослабляет низкочастотный фоновый ток (50, 100 и 150 *гц*), который может возникнуть из-за наводок в обмотке связи со стороны внеш-

них или внутренних источников фона. Емкость этого конденсатора нужно выбирать такой, чтобы резонансная частота образующегося контура $C_2 L_{г.с}$ не совпадала с частотой стирания. Если $\omega_{рез} = \omega_с$, то напряжение стирания будет резко изменяться при смене головок в процессе эксплуатации из-за неизбежного различия в их индуктивности и сопротивлении потерь. Обычно выбирают $\omega_{рез} < \omega_с$, так как при $\omega_{рез} > \omega_с$ значительная часть напряжения обмотки падает на конденсаторе C_2. Если напряжение для стирания значительно отличается от напряжения для подмагничивания, то от обмотки связи делают отвод, к которому подключают головку записи.

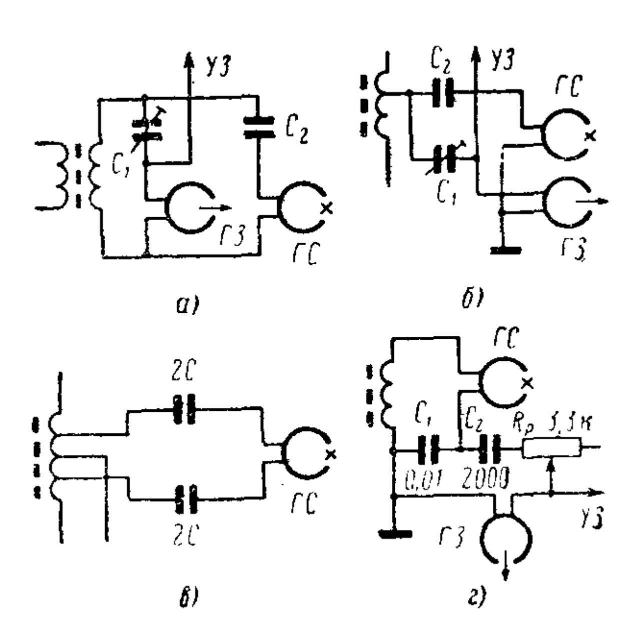


Рис. 73. Различные схемы связи генератора с нагрузкой.

Вторая схема (автотрансформаторная) показана на рис. 73, *б*. Она не требует обмотки связи и, следовательно, конструктивно проще. Головку стирания подключают к отводу от катушки контура генератора через разделительный конденсатор C_2, а головку записи — через подстроечный конденсатор C_1. Оба конденсатора имеют одинаковое назначение и одинаковую емкость с соответствующими конденсаторами на рис. 73, *а*. Если генератор собран по двухтактной схеме, то к контуру можно подключить только головку стирания (рис. 73, *в*), так как головка записи, будучи соединена в усилителе одним концом с проводом нулевого потенциала, при подключении по автотрансформаторной схеме вызовет нарушение симметрии генератора. Поэтому автотрансформаторная связь с двухтактным генератором используется лишь в том случае, когда он собран по схеме на рис. 71, *а*, в которой имеется отдельный выход для подключения головки записи.

Третья схема связи показана на рис. 73, *г*. Она применяется, например, в радиовещательном магнитофоне МЭЗ-15. Напряжение высокой частоты с обмотки связи через конденсатор C_1 подводится к стирающей головке. Падение напряжения на конденсаторе используется как напряжение подмагничивания. Через разделительный конденсатор C_2, не пропускающий ток звуковой частоты в генератор, и регулятор подмагничивания (переменный резистор $R_р$), это напряжение подводится к головке записи.

Преимущество данной схемы состоит в дополнительной фильтрации высокочастотных колебаний генератора конденсатором C_1. Относительная величина содержания высших гармоник в напряжении на этом конденсаторе меньше, чем в напряжении на обмотке связи, так как сопротивление конденсатора для высших гармоник меньше, чем для основной частоты. Что же касается использования в данной схеме регулировки подмагничивания переменным резистором, а не конденсатором, как в предыдущих схемах, то ее нельзя считать в данном случае удачной, так как на резисторе выделяется значительная мощность высокой частоты. Исключить этот резистор из схемы и вести регулировку конденсатором C_2 практически нельзя вследствие значительной емкости последнего.

В стереофонических двухканальных магнитофонах для подключения головок к генератору используют схемы, аналогичные изображенным на рис. 73, *а* и *б*, с той лишь разницей, что каждую головку записи включают через отдельный подстроечный конденсатор, а головку стирания — через отдельный разделительный конденсатор. При выключении одной из головок вместо нее должен включаться эквивалентный по потребляемой мощности резистор, так чтобы режим работы генератора не изменялся.

В многоканальных стереомагнитофонах предпочитают многокаскадный генератор с одним задающим и несколькими оконечными каскадами, к которым подсоединяются отдельные головки или группы из двух головок каждая.

20. ОСЛАБЛЕНИЕ ПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ ГЕНЕРАТОРОМ

Генератор высокой частоты может оказывать вредное воздействие на усилители магнитофона и на расположенные вблизи радиоприемники из-за неизбежного излучения части высокочастотной энергии. Существует ряд способов ослабить это воздействие.

Во-первых, стремятся уменьшить само излучение, для чего головки стирания и записи заключают в экраны, а провода, подводящие к ним высокую частоту, свивают и тоже экранируют. Генератор стараются монтировать компактно и в некоторых случаях помещают целиком в отдельную металлическую коробку. Не следует применять катушки контура без сердечников и с незамкнутыми сердечниками. Наилучшим служит тороидальный сердечник, при котором магнитное поле рассеяния практически отсутствует. Хорошие результаты дают и сердечники броневого типа (СБ-3а, СБ-4а). При монтаже генератора не следует устанавливать катушку контура ближе, чем на 5—10 *мм* от шасси и экранов (для избежания значительных потерь энергии высокой частоты). Особенно нужно удалять катушки, намотанные без сердечника или на сердечниках с разомкнутой магнитной цепью.

Рис. 74. Схема включения фильтра-пробки, защищающего усилитель воспроизведения от воздействия генератора высокой частоты во время записи.

Кроме указанных мер, ослабляющих само высокочастотное излучение, применяют и меры защиты от действия этого излучения. Так, например, в схемах усилителя записи включают фильтр-пробку. Такую же фильтр-пробку, настроенную на частоту стирания или подмагничивания, включают иногда в катодную цепь лампы первого каскада усилителя воспроизведения для защиты этого усилителя от воздействия высокой частоты во время записи (рис. 74). На резонансной частоте сопротивление фильтра-пробки становится очень большим, и в каскаде возникает сильная обратная связь по току, вследствие чего усиление каскада на высокой частоте резко ослабляется.

Для уменьшения проникания высокой частоты в провода осветительной сети включают в магнитофоне специальный заградительный фильтр или просто соединяют оба сетевых провода с шасси через конденсаторы емкостью 0,1—0,25 *мкф*.

21. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ТРАНЗИСТОРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

В магнитофонах с автономным питанием для сокращения габаритов аппарата и экономии источников питаиия иногда генератор высокой частоты применяют только для подмагничивания, а стирают запись или головкой с постоянным магнитом, или предварительно

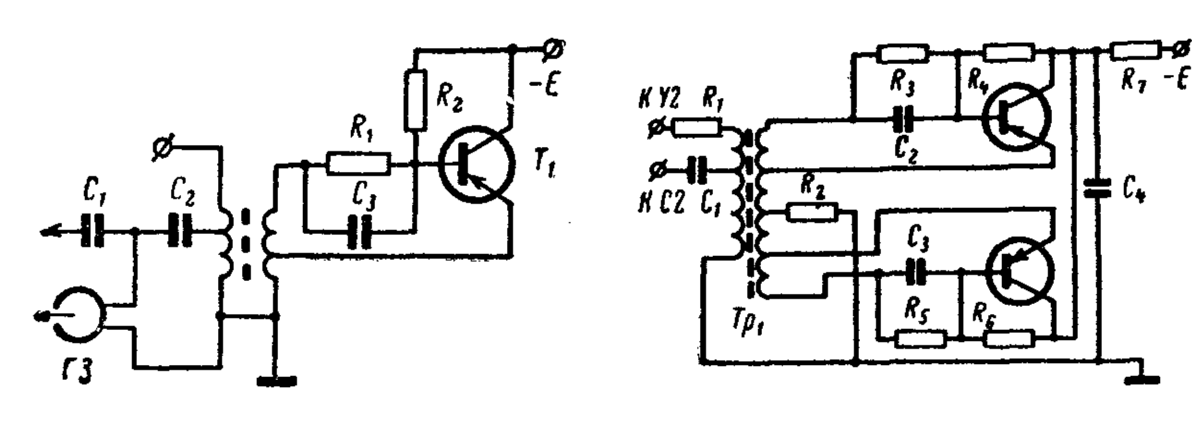


Рис. 75. Транзисторный генератор тока подмагничиваиня.

Рис. 76. Двухтактный транзисторный генератор токов стирания и подмагничивания с автотрансформаторной связью.

размагничивают катушку с лентой при помощи электромагнита, питаемого от сети переменного тока.

Схема простейшего экономичного генератора тока подмагничивания изображена на рис. 75. В ней транзистор включен по схеме с общим коллектором, а в цепи базы имеются резисторы R_1R_2, определяющие режим работы генератора. Для улучшения формы тока цепь магнитной головки настраивают на частоту тока подмагничивания. Ток подмагничивания регулируют путем подбора числа витков катушки связи. Катушка контура намотана иа ферритовом сердечнике. Корпус маломощного транзистора (его коллектор), желательно закрепить на шасси магнитофона для лучшего отвода тепла.

В более высококачественных магнитофонах применяют двухтактные схемы генераторов, так как оии не создают четных гармоник, если траизисторы, работающие в схеме, близки по параметрам. На рис. 76 приведена схема двухтактного генератора с автотрансформаторной связью, используемого и для подмагничивания, и для стирання.

Для улучшения формы колебаний в цепи эмиттеров включен общий резистор обратной связи. Контурная катушка намотаиа иа ферритовом кольце. При конструировании и монтаже генератора следует стремиться сохранить симметрию схемы. Транзисторы необходимо подобрать с одинаковыми параметрами.

Хорошую форму токов стирания и подмагничивания дает также двухтактный генератор с емкостной связью, схема которого приведена на рис. 77.

Если в магнитофоне применяют несколько стирающих и записывающих головок (например, двухдорожечные блоки головок в стереофоническом магнитофоне), то генератор делают многокаскадным: один задающий каскад и несколько (по числу головок) усилительных каскадов. Это обеспечивает взаимную независимость работы головок и удобство индивидуальной регулировки токов. Не следует делать

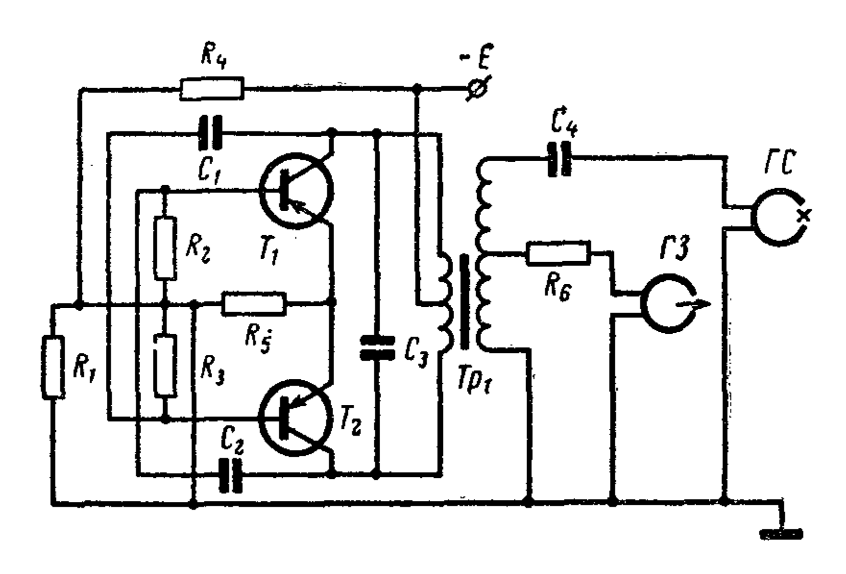


Рис. 77. Двухтактный траизисторный генератор токов стираиия и подмагничивания с емкостиой связью.

в одном магнитофоне несколько независимых по частоте высокочастотных генераторов, так как между ними возникнут биения, которые могут записаться на магнитную ленту.

Некоторые затруднения при однокаскадном транзисторном генераторе вызывает регулировка тока подмагничивания. Это объясняется тем, что из-за сравнительно низкого напряжения питания транзистора колебательиое напряжение высокой частоты, получаемое от генератора, также намиого меньше, чем у лампового. Поэтому приходится выбирать малую индуктивность головок записи и соответственно большой ток подмагничивания. При широко распространенном в ламповых схемах регуляторе подмагничивання в виде подстроечного конденсатора емкость его при транзисторной схеме должна быть намного больше. Подобные конденсаторы не изготовляются, поэтому в транзисторных генераторах подмагничивание регулируют или путем выбора отвода от катушки связи, или при помощи переменного резистора.

Первый способ иаименее удобен, так как сильно усложняется обмотка контура и регулировка получается ступенями. Однако при этом форма тока подмагничивания сохраняется и регулировка возможна в очень широких пределах.

Второй способ применяется наиболее часто, но при этом форма тока подмагничивания несколько зависит от положения регулятора.

Глава шестая

ИНДИКАТОРЫ УРОВНЯ

22. УРОВЕНЬ ЗАПИСИ И ЕГО ИЗМЕРЕНИЕ

Под уровнем той или иной записи понимают степень полезной намагниченности ленты, на которой сделана запись. Этот уровень не остается постоянным. Он непрерывно изменяется по длине ленты, и можно поэтому говорить лишь о его максимальном или среднем эффективном значении. Среднее значение уровня при прочих равных условиях определяет громкость воспроизведения данной записи. Чем выше уровень записи, тем меньше усиления требуется при воспроизведении и проще становится магнитофон.

Вследствие этого уровень записи желательно повышать. Однако это связано с заходом в нелинейную область рабочей характеристики намагничивания ленты и увеличением нелинейных искажений. Поэтому стандартом ГОСТ 8088-66 установлен некоторый максимально допустимый уровень записи.

В качестве меры измерения уровня записи принято эффективное значение остаточного магнитного потока на низкой частоте в пересчете на 1 *м* ширины дорожки записи. Так, например, для скоростей ленты 381, 190, 95 и 47,6 *мм/сек* максимально допустимый уровень 256 *нвб/м*. При записи по всей ширине ленты (6,25 *мм*) это соответствует эффективному значению потока 1 600 *пвб*. Коэффициент гармонических искажений, возникающих при таком уровне записи в ленте типа 6, равен примерно 2%.

Во время записи необходимо контролировать ее уровень, следить за тем, чтобы он, с одной стороны, не превышал максимально допустимого, а с другой — не был и слишком мал, иначе запись будет воспроизводиться тихо, а относительная величина собственных помех магнитофона станет большой.

Каким же путем можно измерять уровень записи? Известно, что всякое измерение физической величины ведется путем сопоставления ее с однородной величиной, принятой за единицу или выраженной известным количеством этих единиц. В качестве такой опорной величины при измерении уровня записи служит измерительная лента, применяемая при настройке магнитофона. Одна из частей этой ленты содержит запись сигнала 400 *гц* с максимально допустимым уровнем.[1]

Имея измерительную ленту как опорную величину, нужно сопоставить ее с испытываемой фонограммой, уровень записи которой нужно определить. Такое сопоставление происходит путем последовательного воспроизведения через канал воспроизведения магнитофона сначала записи измерительной ленты, а затем записи испытываемой фонограммы. Пусть в первом случае выходное напряжение будет обозначено как $U_х$, а во втором как $U_э$.

На рис. 78 показаны частотная характеристика остаточного магнитного потока в ленте и частотная характеристика выходного напряжения магнитофона. Здесь видно, что в каком-то диапазоне (примерно до 1 000 *гц*) можно считать выходное напряжение прямо пропорциональным эффективному значению остаточного магнитного потока. Если испытываемая фонограмма содержит запись в указанном частотном диапазоне, то ее уровень

$$\Phi_х = \Phi_э \frac{U_х}{U_э},$$

где $\Phi_э$ — эффективное значение остаточного магнитного потока в измерительной ленте;
$\Phi_х$ — то же значение в испытываемой фонограмме.

Оставим пока в стороне вопрос о том, как измерять уровень, если запись произведена в более широком диапазоне, чем до 1000 *гц*, и остановимся на практических вопросах сопоставления измерительной ленты и испытываемой фонограммы.

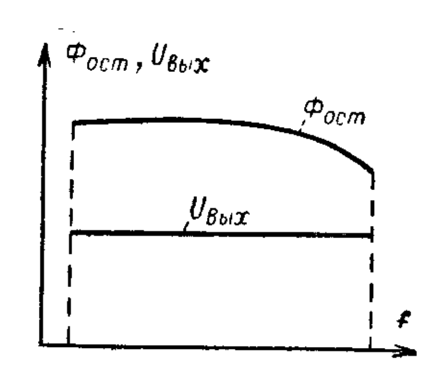


Рис. 78. Частотные характеристики остаточного магнитного потока в ленте и выходного напряжения магнитофона.

Воспроизведение записи измерительной ленты и замер напряжения $U_э$ не обязательно проводить перед измерением каждой испытываемой фонограммы. Обычно коэффициент усиления усилителя воспроизведения самопроизвольно или вследствие изменения напряжения питания изменяется весьма мало. Поэтому достаточно 1 раз воспроизвести запись измерительной ленты (как говорят, «прокалибровать» канал воспроизведения), с тем чтобы потом длительное время пользоваться им для измерения уровня.

Предположим, что выходное напряжение при воспроизведении записи измерительной ленты с уровнем 256 *нвб/м* было равно 3 *в*. Если при воспроизведении записи испытываемой фонограммы оно доходило до 2 *в*, то можно сказать, что уровень записи достигал 2/3 от максимального.

Очевидно, что определять уровень записи важно не после ее окончания, а в процессе самой записи, с тем чтобы иметь возможность своевременно исправлять его отклонения за установленные пределы. Если магнитофон имеет сквозной канал, то это не представляет трудности. В процессе записи контролируют выходное напряжение и по нему судят об уровне записи. Измеритель выходного напряжения, специально предусматриваемый для этой цели в магнитофоне, называют индикатором уровня.

В магнитофоне, не обладающем сквозным каналом (с универсальным усилителем), уровень записи в процессе самой записи определяют косвенным путем. Индикатор уровня измеряет в этом случае напряжение, подводимое к цепи головки записи. Путем ряда предварительных проб выясняют, при каком напряжении запись получается с максимально допустимым уровнем, и записывают так, чтобы не превышать данное напряжение. Косвенное измерение уровня дает правильный результат только при той ленте, на которой проводились пробы. Смена ленты на другую с большей или меньшей чувствительностью приведет, естественно, к тому, что при том же напряжении в цепи головки уровень записи будет получаться больше или меньше.

[1] До 1965 г. выпускались измерительные ленты типа РТ, у которых эта запись имела уровень в 2 раза меньший максимального.

23. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИНДИКАТОРАМ УРОВНЯ

По принципу действия индикаторы уровня в магнитофонах представляют собой вольтметры переменного тока той или иной системы, однако применение их в магнитофонах определяет некоторые рассматриваемые ниже специфические особенности.

Прежде всего чувствительность индикатора уровня должна соответствовать напряжению, подводимому к нему в магнитофоне.

Индикатор уровня не должен вносить искажений в измеряемый сигнал. Входное сопротивление индикатора во всем рабочем диапазоне частот должно быть в 5—10 раз больше выходного сопротивления той части схемы, где он подключается. Это обеспечивает отсутствие вносимых частотных искажений.

В ряде схем индикаторов благодаря имеющемуся на входе нелинейному элементу (например, германиевому диоду) входное сопротивление непостоянно и зависит от величины и направления приложенного напряжения. В этом случае, чтобы избежать возникновения в магнитофоне при подключении индикатора дополнительных нелинейных искажений, необходимо, чтобы минимальное входное сопротивление индикатора было в 15—25 раз больше выходного сопротивления той части схемы, к которой он подключается.

Индикатор уровня должен иметь достаточный диапазон измерений и обеспечивать удобный отсчет уровня записи. Для любительской звукозаписи считают достаточным диапазон измерений 12 *дб* (соотношение крайних измеряемых величин 4 : 1), а для профессиональной звукозаписи 40—50 *дб* (100 : 1—300 : 1). В последнем случае индикатор должен иметь шкалу, проградуированную в децибелах или в процентах от максимального уровня записи.

Так как индикатор уровня применяется для измерений быстро меняющихся по величине напряжений, он должен успевать реагировать на эти быстрые изменения. Иначе отдельные кратковременные повышения уровня записи не будут отмечены, возникнет перемодуляция ленты и нелинейные искажения в записи.

В связи с этим возникает вопрос, что следует понимать под кратковременными повышениями уровня? Эксперименты показали, что даже значительные искажения, длящиеся менее 10 *мсек*, почти не обнаруживаются на слух. Поэтому не имеет смысла применять безынерционные индикаторы, способные отмечать мгновенные изменения уровня. Вполне достаточно, чтобы они успевали отмечать опасные с точки зрения ощущаемости искажений повышения уровня, т. е. те, которые длятся более 10 *мсек*. Важные для выполнения этого требования свойства индикатора характеризуются двумя показателями: так называемым временем интеграции индикатора и баллистическими свойствами входящего в состав индикатора уровня измерителя, например гальванометра.

Временем интеграции индикатора τ называют продолжительность подачи напряжения звуковой частоты на вход индикатора, при которой его показания составляют 80—90% от показаний при длительной подаче того же напряжения. Импульсы звуковых сигналов продолжительностью менее τ будут измеряться индикатором с явным преуменьшением их истинной величины. Таким образом, время интеграции индикатора уровня показывает ту минимальную продолжительность действия входного напряжения, при котором величина его будет оценена индикатором с ошибкой, не превосходящей 10—20%. Если сопоставить это с тем, что было сказано об ощущаемости кратковременно-повышенных искажений, то нетрудно прийти к выводу, что величина τ должна находиться в обозначенных ранее пределах, т. е. быть равной или близкой к 10 *мсек*.

Если величина τ дает ответ на вопрос о том, насколько точно будет измерен тот или иной импульс напряжения звуковой частоты, то баллистические свойства измерителя показывают, с каким запозданием это измерение (отсчет показания) будет сделано. Действительно, из-за инерции некоторых измерителей (например, стрелки гальванометра) движение их происходит с конечной скоростью, и показания будут всегда несколько запаздывать. Если оно не превышает 200 *мсек*, то это обычно не может быть недостатком, так как сам оператор все равно не успевает быстрее реагировать.

Чтобы облегчить наблюдения за индикатором уровня, обратное движение измерителя (к нулевому отсчету) искусственно замедляют до 1,5—2 *сек*. Это делает изменения показаний индикатора более плавными и не так утомляет наблюдающего за ним оператора.

В магнитофонах находят применение индикаторы трех типов: индикаторы максимального уровня, индикаторы среднего уровня и индикаторы промежуточного типа. Первые имеют $\tau \approx 10$ *мсек*, и их показания позволяют непосредственно следить с необходимой точностью за уровнем записи. В простых магнитофонах применяют индикаторы среднего уровня с $\tau = 200$ *мсек*. Эти индикаторы дают значительно преуменьшенные значения уровня, так как кратковременные его повышения, длящиеся менее 200 *мсек*, практически не регистрируются. До некоторой степени этого недостатка можно избежать, если проводить запись по индикатору среднего уровня с недомодуляцией или, что более удобно, настраивать индикатор так, чтобы его максимальные показания соответствовали примерно 30—40% от максимально допустимой величины уровня.

В Советском Союзе в профессиональной звукозаписи широко распространены индикаторы уровня промежуточного типа с $\tau = 60$ *мсек*. Многочисленные опыты показали, что такие индикаторы дают на коротких импульсах показания, преуменьшенные примерно на 3 *дб* по сравнению с индикаторами максимального уровня. Поэтому, чтобы избежать перемодуляции, их настраивают по измерительной ленте так, чтобы при настройке показание индикатора равнялось +3 *дб*, а во время записи не превышало 0 *дб*.

Преимущество индикаторов уровня с $\tau = 60$ *мсек* по сравнению с индикаторами максимального уровня заключается в том, что их показания более точно соответствуют громкости звука, кроме того, если сравнивать индикаторы со стрелочными приборами, то при $\tau = 60$ *мсек* они проще, чем при $\tau = 10$ *мсек*.

24. ТИПЫ ИНДИКАТОРОВ УРОВНЯ

Рассмотрим ряд практически используемых в магнитофонах индикаторов уровня.

Стрелочный индикатор среднего уровня. Схема его приведена на рис. 79. Он представляет собой купроксный вольтметр. В зависимости от сопротивления резистора *R* и типа гальванометра *И* чувствительность индикатора может быть разной, но обычно она не превышает 1 *в* на всю шкалу.

Недостаток этого индикатора заключается в относительно низком и к тому же нелинейном (из-за купроксного выпрямителя) входном сопротивлении. Увеличивая R, можно повысить входное сопротивление индикатора, но при этом снизится его чувствительность.

Этот индикатор не находит широкого применения, так как для бытовых магнитофонов он дорог, а для профессиональных недостаточно точен.

Рис. 79. Схема индикатора среднего уровня.

В — купроксный выпрямитель ВК-07/02; *И* — микроамперметр (0—50, 0—100 *мка*).

Стрелочный индикатор уровня РИ-58. Данный индикатор применяется в Советском Союзе для профессиональной звукозаписи (индикатор разработан во Всесоюзном научно-исследовательском институте звукозаписи). Схема его без выпрямителя приведена на рис. 80. Индикатор представляет собой сочетание лампового усилителя с катодным выходом и вольтметра с полупроводниковым выпрямителем. Время интеграции индикатора $\tau = 60$ *мсек.* Время обратного движения стрелки до деления, соответствующего 35% всей шкалы, составляет 2—3 *сек.*

Благодаря входному трансформатору чувствительность индикатора достаточно высока ($\sim 0{,}3$ *в*), а его входное сопротивление линейно и в звуковом диапазоне частот не менее 5 000 *ом.* Вход индикатора симметричный.

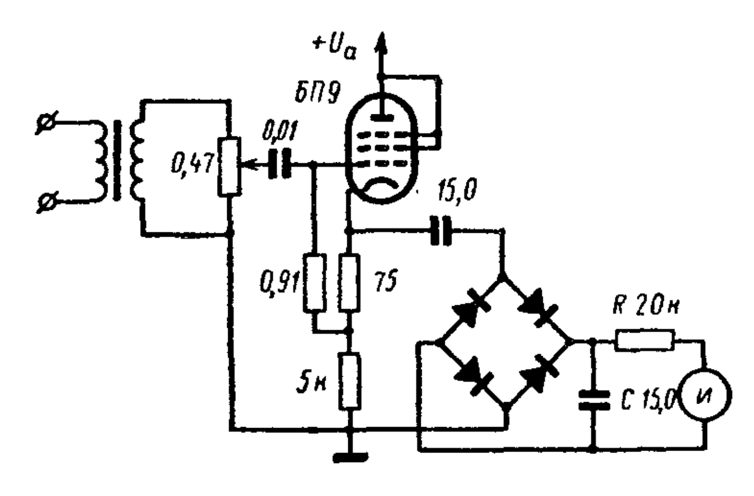


Рис. 80. Схема индикатора уровня РИ-58.

И — микроамперметр 0—200 *мка.*

Диапазон измерений индикатора около 30 *дб.* Такой большой диапазон достигнут благодаря применению в гальванометре полюсных наконечников специальной формы. При этих наконечниках межполюсное расстояние увеличивается по мере отклонения стрелки прибора вправо, и чувствительность прибора соответственно понижается к концу шкалы, что позволяет измерять больший диапазон изменений тока.

Время интеграции прибора определяется периодом накопления заряда на конденсаторе C, который достаточно быстро заряжается через низкое выходное сопротивление катодного повторителя и внутреннее сопротивление германиевых диодов. Увеличение времени обратного движения стрелки объясняется разрядом конденсатора C через прибор и резистор R.

Если нет необходимости в симметричном входе и большой чувствительности, то схема может быть упрощена путем исключения входного трансформатора.

Индикатор уровня с электронно-оптическим указателем. Этот индикатор благодаря его простоте и дешевизне широко применяется в бытовых магнитофонах. Схема индикатора приведена на рис. 81. Она может быть построена с электронно-оптическим указателем любого типа (например, 6Е5С или 6Е1П). При этом сопротивления резисторов R_4 и R_5 следует выбирать в соответствии с рекомендованным для данного указателя режимом работы.

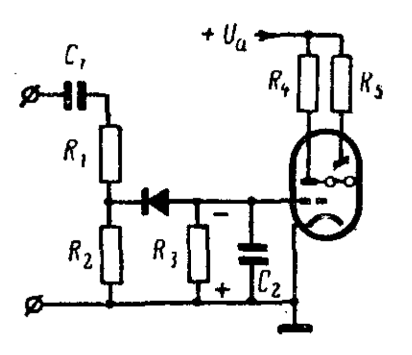


Рис. 81. Схема индикатора уровня с электронно-оптическим указателем.

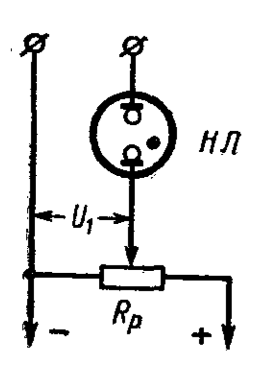


Рис. 82. Схема индикатора уровня с неоновой лампой.

Входное напряжение через делитель R_1R_2 подводится для выпрямления к германиевому диоду. Делитель позволяет подбирать требуемую чувствительность индикатора (примерно 5 *в*). Он увеличивает также входное сопротивление индикатора и делает его более линейным. Выпрямленное напряжение на нагрузке R_3 приложено «минусом» к сетке указателя и вызывает изменение ширины его затемненного сектора, чем и определяется величина измеряемого уровня. Конденсатор C_2 устраняет быстрые колебания потенциала сетки и размытость краев затемненного сектора. Этот конденсатор заряжается через сравнительно небольшое сопротивление (R_2 плюс сопротивление германиевого диода); время интеграции индикатора равно 200 ± 50 *мсек*, т. е. индикатор может быть отнесен к числу индикаторов среднего уровня. Обратное расхождение краев затемненного сектора происходит значительно дольше, так как сопротивление резистора R_3, через который конденсатор C_2 разряжается, может быть выбрано достаточно большим. В некоторых схемах резистор R_3 отсутствует, и разряд конденсатора C_2 происходит через обратное сопротивление германиевого диода. В такой схеме время возвращения указателя (затемненного сектора) в исходное положение может быть доведено до 1,5 *сек.*

Индикаторы с газосветными лампами. Известно, что свечение газосветных ламп (например, неоновых) наступает лишь при достижении на них определенного напряжения, называемого напряжением зажигания. Это позволяет использовать газосветные лампы в качестве простейших индикаторов, причем в этом случае производится

не измерение уровня, а лишь контроль его максимально допустимой величины.

Схема включения неоновой лампы *НЛ* в качестве индикатора уровня приведена на рис. 82. С потенциометра $R_р$ на лампу подается напряжение U_1, близкое к потенциалу зажигания лампы $U_з$. Благодаря вспомогательному напряжению U_1 чувствительность индикатора повышается, так как зажигание лампы происходит при достижении измеряемым уровнем величины $U_з-U_1$.

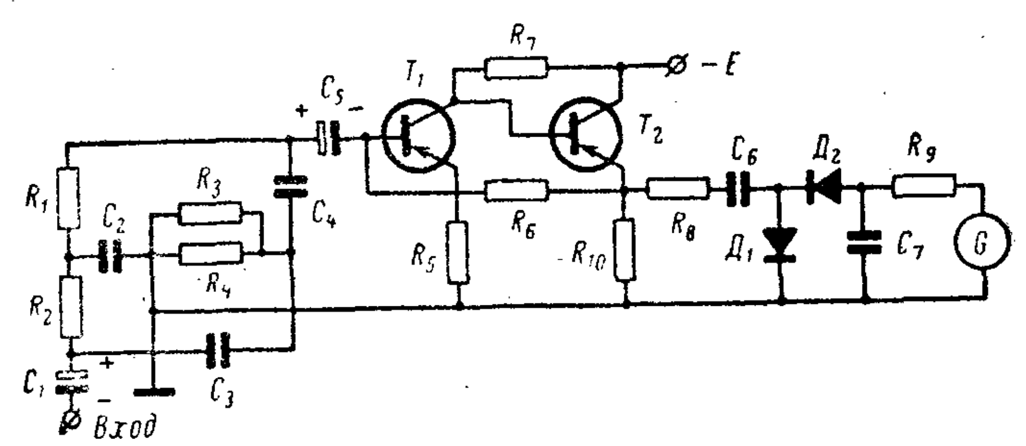


Рис. 83. Схема транзисторного индикатора уровня.

Кроме того, что данный индикатор не имеет диапазона измерений, значительный недостаток его заключается в больших нелинейных искажениях, возникающих при свечении лампы в схеме, к которой подключен индикатор.

Индикаторы уровня транзисторных магнитофонов. В транзисторных магнитофонах часто применяют стрелочные индикаторы уровня, удобные тем, что не требуют никакого питания. Кроме того, прибор индикатора можно использовать и для контроля напряжения питания.

Транзисторным аналогом индикатора уровня РИ-58, рассмотренного выше, служит индикатор, схема которого приведена на рис. 83.

На входе схемы включен съемный фильтр. Он собран по схеме Т-образного моста и настроен на частоту подмагничивания. Фильтр позволяет измерять непосредственно ток записи в головке, не выключая генератор подмагничивания. Можно использовать индикатор для измерения тока подмагничивания, подав сигнал в обход фильтра. Если индикатор включается непосредственно на выход усилителя записи, то его входное сопротивление должно быть большим. В этом случае фильтр заменяется понижающим трансформатором (5 : 1).

Усилитель индикатора двухкаскадный с непосредственной связью, охваченный обратной связью по постоянному току. С эмиттерного повторителя (T_2) усиленный сигнал подается на выпрямитель и гальванометр. Индикатор работает в диапазоне частот 20—20 000 *гц* и имеет хорошую температурную стабильность. Время интеграции его такое же, как у индикатора РИ-58, т. е. 60 *мсек.* На низких частотах оно несколько больше из-за особенностей примененной схемы выпрямления с удвоением напряжения.

Использование в транзисторных магнитофонах электронно-оптического индикатора уровня затруднено тем, что в таких магнитофонах отсутствует высоковольтный источник питания, необходимый для

электронно-оптического указателя. Однако для нормальной работы электронно-оптического указателя нужен небольшой ток. Это позволяет получать для него анодное напряжение путем выпрямления высокочастотного напряжения от генератора магнитофона.

25. ВКЛЮЧЕНИЕ ИНДИКАТОРА УРОВНЯ В СХЕМУ МАГНИТОФОНА

Рассмотрим предварительно случай, когда в магнитофоне имеется сквозной канал, и выясним, где должен быть включен индикатор уровня. В § 23 было установлено, что если говорить об измерении уровня на низких и средних частотах, то наиболее точным будет включение индикатора на выходе канала воспроизведения. При этом на измерения не влияют ни различия в чувствительности лент, ни режим записи, ни данные записывающей головки. Этот вывод совершенно справедлив, если не рассматривать измерение уровня на высоких частотах, имеющее свои особенности.

Напомним, что измерение уровня (контроль за его максимальной величиной) нас интересует, главным образом, с той точки зрения, чтобы нелинейные искажения в записи не превысили допустимую величину. На низких и средних частотах существует неизменная пропорциональность между величиной нелинейных искажений и остаточным магнитным потоком ленты, а также между остаточным магнитным потоком и выходным напряжением магнитофона. Поэтому контроль выходного напряжения позволяет на этих частотах не допускать нелинейных искажений выше определенного значения.

Иначе обстоит дело на высоких частотах. При одном и том же магнитном воздействии на ленту остаточный магнитный поток получается на этих частотах намного меньше, чем на средних и низких. Поэтому одна и та же величина нелинейных искажений получается на этих частотах при меньшем значении остаточного магнитного потока, чем на средних и низких частотах. Контроль магнитного потока по выходному напряжению становится, таким образом, недостаточным для измерения уровня записи. Более точно — контролировать силу магнитного воздействия на ленту при записи, определяемую током в записывающей головке.

Для контроля по току записи достаточно, например, подсоединить индикатор уровня параллельно резистору, включенному последовательно с головкой записи. Если в магнитофоне со сквозным каналом включить два одинаковых индикатора (один на выходе магнитофона, а другой так, как указывалось для контроля по току записи), то второй индикатор во время записи будет иногда давать бо́льшие показания, чем первый, из-за действия частотных предыскажений в усилителе записи. Его показания будут более правильны, так как они учитывают возникающие иногда возрастания магнитного воздействия на ленту на высоких частотах.

Контроль по току в головке записи имеет, однако, свои недостатки, связанные с трудностью установления максимально допустимого значения тока. Настройка такого индикатора может вестись следующим образом. Сначала проигрывают измерительную ленту с записью максимального уровня и измеряют выходное напряжение. Далее производят ряд записей сигнала 400 *гц* с различными значениями тока записи. По выходному напряжению магнитофона определяют, при каком токе намагниченность ленты получается макси-

мально допустимой. После этого индикатор настраивают регулятором чувствительности так, чтобы его максимальное показание[1] соответствовало найденному значению тока. Очевидно, что такая настройка индикатора нарушится, если сменить ленту, головку записи или изменить подмагничивание. Точность измерений поэтому получается невысокой, если только не повторять процедуру настройки индикатора перед каждой записью.

Более точный и удобный контроль получается при включении индикатора уровня на выход магнитофона через частотный корректор с такой же частотной характеристикой, как и у усилителя записи.

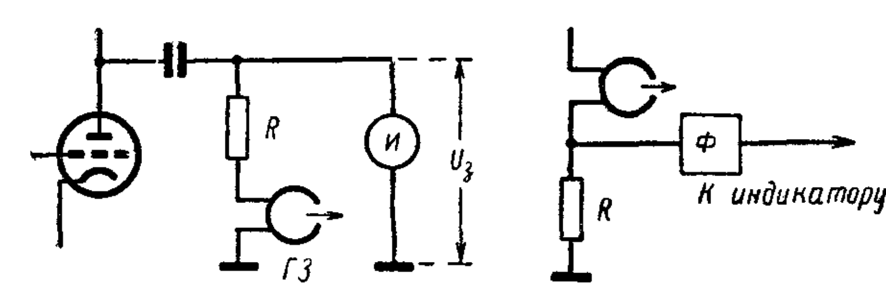


Рис. 84. Схема подключения индикатора уровня к универсальному усилителю.

Рис. 85. Схема подключения индикатора уровня для контроля по току записи.

си. Благодаря включению через корректор индикатор уровня будет давать показания, совпадающие с показаниями индикатора тока записи. В то же время благодаря включению иа выход магнитофона показания индикатора не будут зависеть от чувствительности ленты, головки записи и режима подмагничивания. Частотный корректор может быть выполнен в виде несложного *RC*-четырехполюсника. Возможно также введение частотной коррекции в схему самого индикатора.

Рассмотрим теперь включение индикаторов уровня в схему магнитофонов, не имеющих сквозного канала, т. е. магнитофонов с универсальным усилителем. В этих случаях индикатор включают для контроля по току записи. Способ настройки индикатора, а также преимущества и недостатки такого включения были уже рассмотрены применительно к магнитофону со сквозным каналом. Поэтому остановимся лишь иа схемах включения.

Если частотные предыскажения при записи осуществляются в схеме самого универсального усилителя, то для контроля по току индикатор уровня достаточно включить параллельно цепи головки записи (рис. 84).

Если же предыскажения при записи осуществляются не в универсальном усилителе, а в его выходной цепи (см. рис. 67), то включение индикатора, аналогичное предыдущему, не обеспечивает контроля по току записи, так как соотношение между напряжением на выходе усилителя и током записи изменяется с частотой. Здесь надо прибегать к схеме, показанной на рис. 85, в которой индикатор уровня измеряет падение напряжения на дополнительном резисторе *R*. Однако эта схема применяется редко. Она требует очень большой чувствительности индикатора, так как сопротивление резистора должно быть мало. Кроме того, при этой схеме индикатор уровня надо

[1] В случае индикатора типа РИ-58 он настраивается на +3 *дб*.

защищать от действия тока подмагничивания при помощи фильтра *Ф*.

Поэтому в тех случаях, когда запись корректируют в выходной цепи, применяют схему, приведенную на рис. 84. Неизбежную при этом неточность измерения уровня иа высоких частотах можно считать допустимой для бытовых магнитофонов.

В стереофонических магнитофонах принципиально необходимо иметь несколько индикаторов уровня, рассмотренных выше типов, включенных по одному в каждый канал. Однако в двухканальных бытовых стереомагнитофонах предпочитают для упрощения использовать один общий индикатор. Это или специальный (сдвоенный) электронно-оптический указатель с двумя схемами выпрямления, подобными изображенной на рис. 81, или индикатор уровня с обычным стрелочным или электронно-оптическим указателем, включенным по схеме, изображенной на рис. 86. Как видно из схемы, напряжение *U* на нагрузочном резисторе *R*, общем для обоих каналов, будет определяться в каждый момент времени наибольшим из напряжений каналов. Следя за величиной *U* можно таким образом предотвращать перемодуляцию как в левом, так и в правом канале.

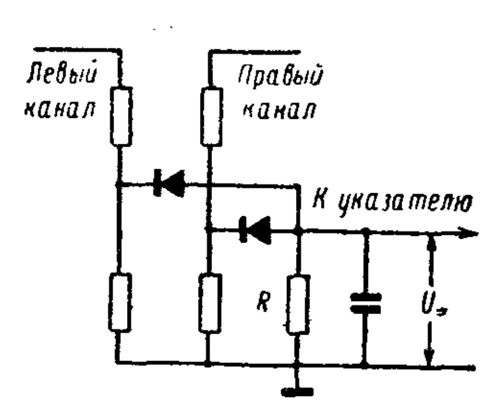


Рис. 86. Схема выпрямителя для индикатора уровня в бытовом стереофоническом магнитофоне.

Глава седьмая

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СХЕМ ТРАНЗИСТОРНЫХ МАГНИТОФОНОВ

26. ПИТАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ МАГНИТОФОНОВ

Транзисторные магнитофоны питаются либо от источников постоянного тока (батареи «Сатурн» и КБС-Л-0,5 или аккумуляторы Д-02), либо от сети переменного тока через выпрямитель. Часто применяют оба вида питания. Первое — в передвижных условиях, второе — в стационарных условиях работы с помощью отдельного выпрямителя. Это делает аппаратуру более универсальной. Напряжение питания невелико (6, 12, 15, 27 *в*), токи питания не превышают иескольких сот миллиампер. Поэтому для питания от сети переменного тока требуются маломощные полупроводниковые выпрямители. Специфическая особенность цепей питания транзисторных магнитофонов — применение так называемых транзисторных фильтров. Они используются в трех случаях:

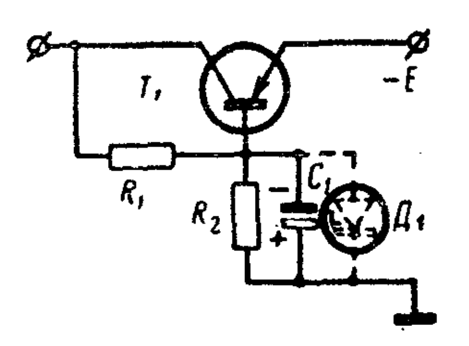
1) для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения;
2) для развязки цепей питания двигателя и усилителя;
3) для стабилизации напряжения питания магнитофона.

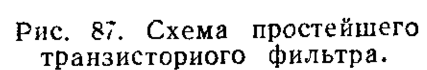
По своим габаритам транзисторные фильтры намного меньше фильтров типа *RC* или *LC*, а по фильтрующему действию могут даже превосходить их.

Схема простейшего фильтра изображена на рис. 87. Его коэффициент фильтрации равен примерно 100. Транзистор выбирают в зависимости от тока нагрузки $I_{н}$, причем должно выполняться условие

$$I_{н} U_{к.б} \ll P_{к.макс},$$

где $P_{к.макс}$ — допустимая мощность рассеяния на коллекторе.




Рис. 87. Схема простейшего транзисториого фильтра.

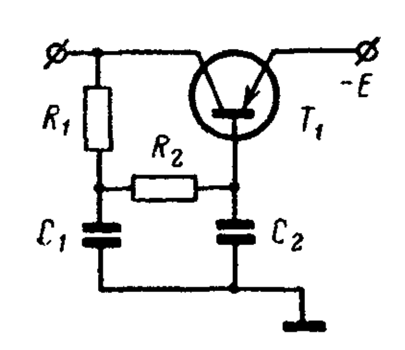


Рис. 88. Усложненная схема транзисторного фильтра.

Емкость конденсатора C_1 равна обычио 50—100 *мкф.* Фильтр работает стабильно в широком интервале температур и хорошо зарекомендовал себя в различных профессиональных и любительских магнитофонах.

Фильтрация возрастает примерно до 250, если немного усложнить схему фильтра так, как это изображено на рис. 88. Когда требуется очень большой коэффициент фильтрации, можно последовательно включать несколько таких фильтров (обычно на транзисторах П201, П4Д, П217). Однако его сравнительно высокая стоимость делает такой вариант схемы часто иеподходящим. На рис. 89 приведена другая схема фильтра, которая обеспечивает в 5—10 раз лучшую фильтрацию, чем схема на рис. 87, и вместе с тем не намиого увеличивает габариты фильтра, так как один из транзисторов в ней (T_1) маломощный (например, П41).

Единственный недостаток схемы тот, что оиа хуже работает при повышениой (40—45° С) температуре.

Если в схемах на рис. 87 и 88 между базой транзистора и минусовым проводом включить стабилитрои (иа рис. 87 он показан пунктиром), то фильтр может одновременно использоваться как стабилизатор выходного напряжения. При питаиии магнитофона от источников постояиного тока применение такого фильтра позволяет стабилизировать режим работы магнитофона, сделать его в определенных пределах независящим от разряда батарей или аккумуляторов. В фильтре-стабилизаторе измеиеиия тока базы траизистора при измеиеиии иагрузки от холостого хода до короткого замыкаиия ие должны выходить за пределы допустимых токов стабилитрона.

Большие трудности возникают в транзисториом магиитофоие при примеиении двигателей постояиного тока с центробежными регуляторами ДКС-7, ДКС-8, ДКС-16. При питаиии двигателя от общего

Таблица 4

Транзисторы, рекомендуемые для применения в различных каскадах магнитофона

Входной каскад Транзисторы малошумные	Промежуточные каскады Транзисторы низкочастотные маломощные	Выходные каскады Транзисторы низкочастотные средней мощности	Генераторы стирания и подмагничивания Транзисторы среднечастотные средней и малой мощности	Источники питания Транзисторы средней мощности низкочастотные
П-13Б*	П-15	П-201*	П-601А	П-201*
П-5Д*	П-41	П-203 (для двухтактных схем)*	П-607А	П-217
П-27А	П-10	П-214	П-602А	П-4В*
П-28	П-101	П-217	П-15	П-214*
П-9А	ГТ-313А	П-601А	ГТ-308Б	П-702
П-39	ГТ-311Б	ГТ-403А	КТ-301В	ГТ-403А
П-101А	ГТ-108Г		ГТ-403В	
П-41Б				
ГТ-313Б				

* Неперспективны.

источника с усилителями магнитофона помеха от центробежного регулятора неизбежно проникает в усилители. Некоторое ослабление помехи дает включение центробежного регулятора не непосредственно в цепь питания двигателя, а в цепь базы проходного транзистора (рис. 90).

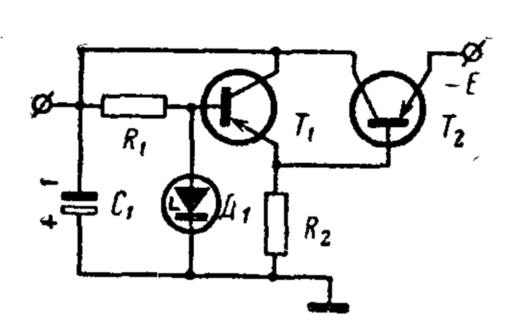


Рис. 89. Схема транзисторного фильтра с повышенной фильтрацией.

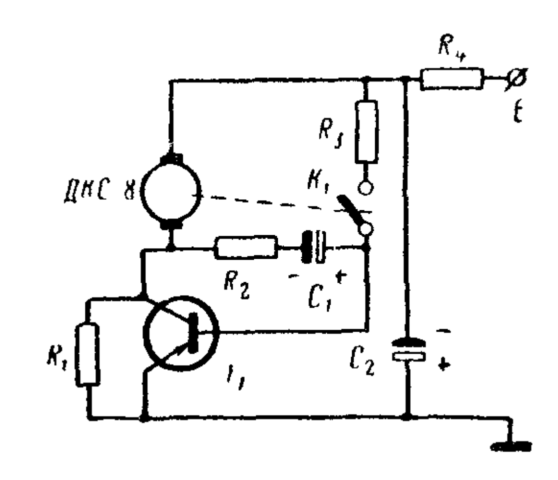


Рис. 90. Схема включения двигателя с центробежным регулятором через проходной транзистор.

Однако для полного устранения помехи необходимо разделить источники питания двигателя и усилителя. Это, конечно, делает магиитофон более тяжелым, увеличивает его габариты и стоимость. Поэтому более целесообразным стаиовится использование схем, приведеииых иа рис. 87 и 88, в качестве развязывающих фильтров в цепях питания усилителей и двигателя.

Следует предупредить, что импульсная помеха от двигателя может проникать в усилитель не только через цепи питания, но и в

виде электромагнитных наводок. Поэтому, прежде чем ставить дополнительные транзисторные фильтры в цепи питания, следует проверить отсутствие помехи при раздельных источниках питания. Если в этом случае помеха не прекращается, надо обратить внимание на экранировку двигателя и правильность монтажа магнитофона.

В малогабаритных магнитофонах, у которых ток питания усилителя мал, возможен и другой способ борьбы с помехами от двигателя. Заключается он в том, что усилитель питают выпрямленным

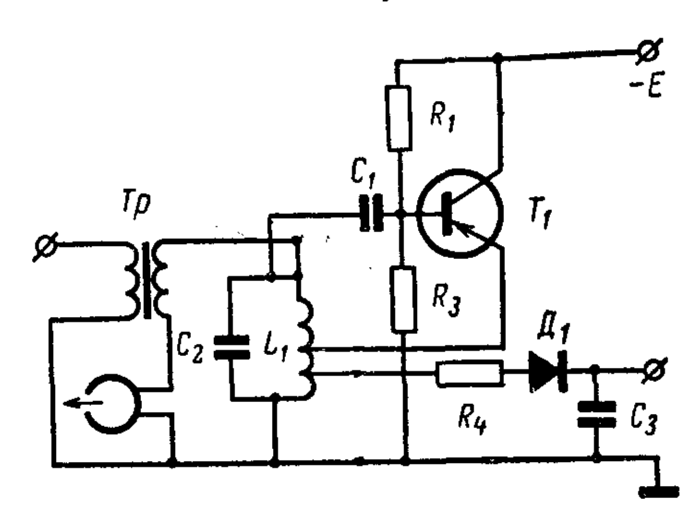


Рис. 91. Схема питания транзисторного усилителя от генератора высокой частоты.

напряжением высокой частоты, получаемым от генератора тока подмагничивания. Сам генератор подключен к тому же источнику питания, что и двигатель. Схема, используемая в этом случае, приведена на рис. 91. С помощью резистора R_3 можно регулировать в некоторых пределах ток подмагничивания, а изменяя сопротивление резистора R_4, — напряжение питания усилителя. Помеха по цепям питания ослабляется при данной схеме в 50—100 раз. Некоторый недостаток ее заключается в взаимозависимости величины подмагничивания и напряжения питания усилителя.

27. ОКОНЕЧНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Очень часто в транзисторные магнитофоны, особенно бытового назначения, встраивают громкоговорители мощностью от 0,25 до 2 *вт*, позволяющие воспроизводить и контролировать запись. В этом случае в состав магнитофона входит оконечный усилитель, способный развить требуемую мощность.

Принципиально этот усилитель может быть построен по любой известной схеме, однако схемы с трансформаторным выходом мало пригодны из-за своей неэкономичности, сложности выходного трансформатора и его сравнительно больших для транзисторного магнитофона габаритов и веса.

В последнее время появилось несколько вариантов схем с бестрансформаторным выходом, успешно работающих на нагрузку 3—6 *ом*. На рис. 92 изображена схема одного такого усилителя, обладающая следующими особенностями.

Схема содержит три каскада: первый, предварительный, работающий в режиме *A*, второй — фазоинверторный на двух транзисторах и третий мощный на транзисторах типа *p-n-p*, собранный по схеме асимметричного двухтактного усилителя, имеющего емкостную связь с нагрузкой. Последние два каскада работают в режиме *B*. Когда верхние транзисторы проводят, их выходной ток в $\beta_2\beta_4$ раза больше входного (β_2 и β_4 — коэффициенты усиления по току фазоинвертора и выходного каскада). Аналогично, когда проводят нижние транзисторы, их выходной ток в $\beta_3\beta_5$ раз больше входного. Желательно, чтобы $\beta_2\beta_4=\beta_3\beta_5$, в этом случае схема будет сбалансирована. Выходное сопротивление усилителей очень мало (несколько *ом*), поэтому громкоговоритель можно подключить без согласующего трансформатора. Вместе с тем емкость переходного конденсатора C_4 из-за малого сопротивления нагрузки должна быть большой (500—1 000 *мкф*), иначе возникает завал на низких частотах. Очень важно выбирать выходные транзисторы с возможно большим обратным напряжением

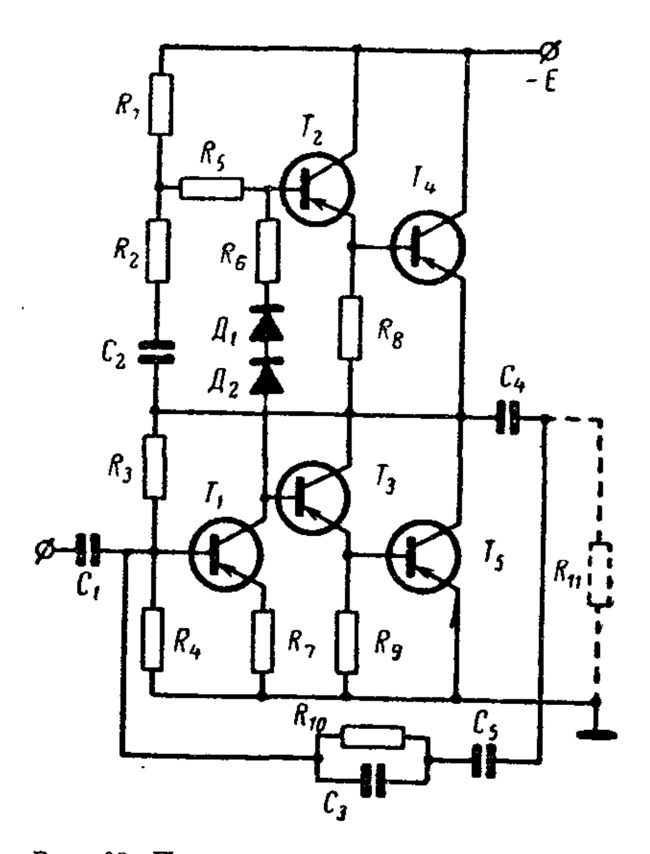


Рис. 92. Принципиальная схема оконечного усилителя с бестрансформаторным выходом.

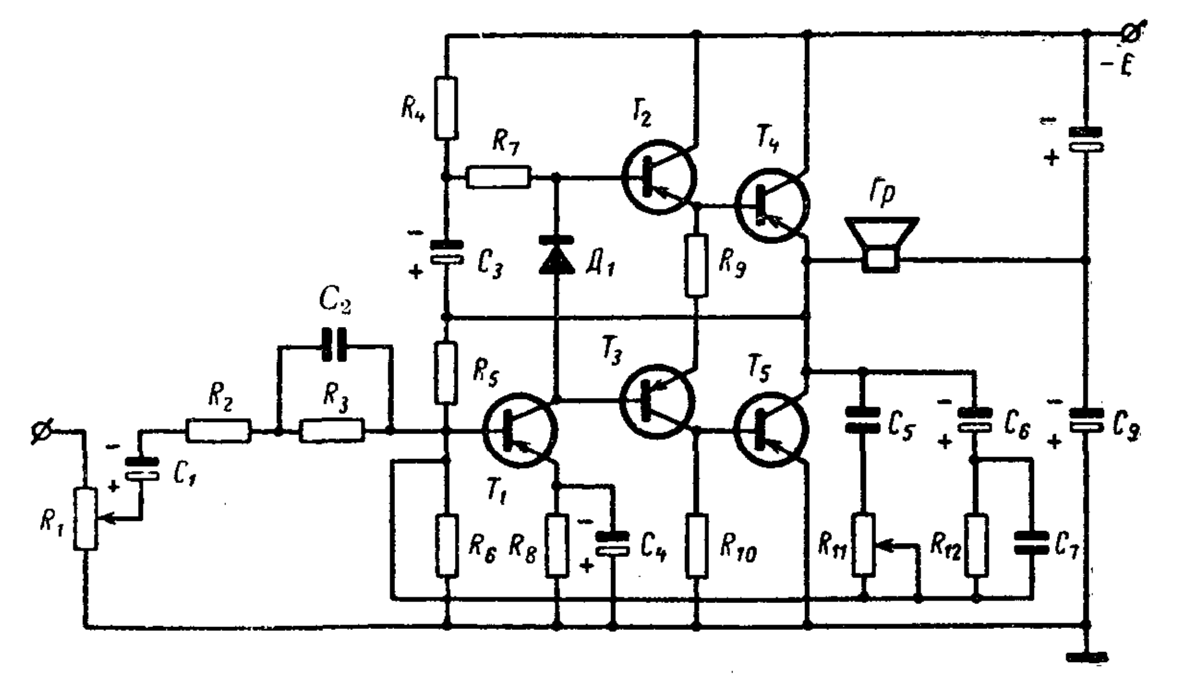


Рис. 93. Схема оконечного усилителя магнитофона «Электрон».

(коллектор — эмиттер). Иначе может произойти пробой из-за разогрева мощных транзисторов, которые размещают на радиаторах. Компенсирующие диоды $Д_1$ и $Д_2$ служат для уменьшения напряжения смещения транзисторов при увеличении температуры. Фазосдвигающая цепочка R_2C_2 предназначена для дополнительного симметрирования схемы. С ее помощью удается добиться симметричного ограничения сигнала сверху и снизу и получить максимальную мощность в нагрузке. Весь усилитель для снижения нелинейных искажений охвачен отрицательной обратной связью (10 *дб*) через конденсаторы C_3, C_5 и резистор R_{10}.

Известно несколько модификаций схемы на рис. 92. Они отличаются способом температурной стабилизации, схемой подачи отрицательной обратной связи или типом проводимости используемых транзисторов. Иллюстрацией практического применения описанной схемы может быть оконечный усилитель, использованный в любительском магнитофоне «Электрон» (авторы Редькин и Галин). Схема его изображена на рис. 93.

Усилитель дает выходную мощность около 3 *вт* при нелинейных искажениях не более 3%.

28. МИНИАТЮРИЗАЦИЯ МАГНИТОФОНОВ

Применение транзисторов вместо электронных ламп в схемах магнитофонов позволило резко сократить их габариты и вес. Вместе с тем магнитофон, схема которого содержит усилитель записи, усилитель воспроизведения, генератор токов стирания и подмагничивания, индикатор уровня, источники питания и другие вспомогательные элементы, не может быть сделан меньше, чем, например, обычная книга, имеющая 300—400 страниц. Физический объем радиодеталей не позволит уменьшить эти габариты. Поэтому в тех случаях, когда поставлена задача миниатюризации, приходится идти или по пути отказа от различных необязательных элементов блок-схемы, или по пути снижения в допустимых пределах качества магнитофона и уменьшения удобств при его эксплуатации. Это позволяет уменьшить габариты магнитофонов до размеров обычного блокнота или спичечной коробки.

Для этого, прежде всего, отказываются от сквозного канала и делают усилитель магнитофона универсальным. Режимы «Запись-воспроизведение» переключают при помощи микропереключателей или малогабаритных контактных групп, устанавливаемых в удобных для этого местах магнитофона.

Большой объем занимает генератор и его питание.

Полностью отказаться от высокочастотного стирания и подмагничивания и перейти на режим записи с подмагничиванием, создаваемым постоянным током, нежелательно, так как это резко увеличивает шумы и нелинейные искажения записи. Поэтому более удобен компромиссный путь, заключающийся в записи на предварительно размагниченной ленте. В этом случае в магнитофоне необходим только маломощный генератор тока подмагничивания с относительно малым потреблением тока от источника питания. Схема такого генератора была рассмотрена в § 21. Частоту подмагничивания выбирают в пределах 25—30 *кгц*, что еще снижает требуемую выходную мощность. При малогабаритной универсальной головке она не превышает 50 *мвт*. Генератор, собранный на транзисторе П5Г или ГТ108В с катушкой колебательного контура, намотанной на ферритовом кольце диаметром 7—10 *мм*, занимает объем менее 1,5 *см*^{3}.

Если проблема борьбы с помехами от двигателя не решена путем использования раздельных батарей питания, то в миниатюрных магнитофонах целесообразно применять генератор тока подмагничивания, собранный по схеме на рис. 91, питая от него и усилитель.

При известном навыке работы с магнитофоном можно отказаться от применения индикатора уровня. Это позволяет еще выиграть около 10 *см*^{3} объема.

Дальнейшее уменьшение габаритов магнитофона возможно путем ухудшения в допустимых пределах его качественных характеристик. Во-первых, нужно снизить требования по температурной устойчивости схемы. Это позволяет отказаться от цепей термостабилизации, не ставить блокировочных конденсаторов большой емкости и повысить коэффициент усиления каждого каскада.

Допуская нормальную работу миниатюрного магнитофона при окружающей температуре только до +35° С, можно вовсе не применять резисторов и блокировочных конденсаторов в цепях эмиттеров, а связь между некоторыми каскадами делать непосредственной. Все это сокращает количество радиодеталей и уменьшает объем, занимаемый схемой. Во-вторых, можно сокращать рабочий диапазон частот особенно со стороны низких частот, так как это позволяет применять переходные конденсаторы малой емкости (5—10 *мкф*) и, следовательно, малых габаритов.

Кроме того, чем выше низшая рабочая частота, тем больше э. д. с. головки при воспроизведении, и можно уменьшить требуемый коэффициент усиления в усилителе. Еще более целесообразно сокращение частотного диапазона для уменьшения размеров лентопротяжного механизма. В очень миниатюрных магнитофонах скорость ленты не следует выбирать более 2,7 *см/сек*. Это означает, что верхняя рабочая частота должна быть около 3 000 *гц*.

В третьих, можно отойти от стандартных значений частотных предыскажений в канале записи и частотной коррекции в канале воспроизведения и уравнять их между собой, т. е. не менять частотную характеристику усилителя при переходе с записи на воспроизведение. Это, естественно, упрощает схему и, кроме того, увеличивает э. д. с. головки на низких частотах.

Выбирая требования к качеству записи в миниатюрных магнитофонах, следует иметь в виду, что такие магнитофоны рассчитаны обычно только для записи речи и для них основным критерием качества служит только ее разборчивость. Поэтому предложенные меры, позволяющие сократить габариты за счет качества, — допустимы. Использование этих мер позволяет при современных транзисторах (ГТ108Г и других) построить схему усилителя магнитофона, объемом 2—3 *см*^{3}, всего на 2—3 транзисторах.

Портативный магнитофон в основном используют для записи в качестве «записной книжки». Учитывая это основное назначение миниатюрного магнитофона, можно для всемерного сокращения его габаритов сохранить в нем только функцию записи. Воспроизведение записей можно выполнять на другом магнитофоне, более сложном и более высокого качества. Тогда электрическая схема только записывающего аппарата предельно упрощается, отпадает сложная коммутация, возрастает надежность схемы. Естественно, лентопротяжный механизм в таком магнитофоне делают тоже предельно простым, без перемотки, отвода ленты от головок и т. п.

Усилитель и генератор занимают объем 1,5—2 *см*³, а весь магнитофон может поместиться в спичечной коробке. Воспроизводящий магнитофон нужно делать с переменной скоростью и переменной высокочастотной и низкочастотной коррекцией, подбираемыми по тембру воспроизводимого голоса. Это облегчает расшифровку сделанных записей и позволяет снизить требования к записывающему магнитофону.

Миниатюризация магнитофона тесно связана не только с электронной схемой, но и с выбором носителя записи. Для миниатюрного магнитофона часто используют специальную нержавеющую стальную проволоку диаметром 50 *мк* или даже более тонкую. Применение проволочного носителя позволяет на катушке размерами 36×3 *мм* записывать речь в течение 40 *мин*. Скорость проволоки выбирается обычно в 3 раза больше, чем скорость ленты, что объясняется более низким качеством проволоки как носителя записи. Тем не менее, габариты катушек с проволокой получаются существенно меньше, чем у катушек с магнитной лентой. Соперничество проволочного и ленточного носителей привело к появлению специальных тонких «долгоиграющих» лент толщиной 14 *мк*. Кроме того, в миниатюрных магнитофонах применяют многодорожечную фонограмму, например на ленте шириной 6,25 *мм* располагают четыре дорожки; переход с дорожки на дорожку осуществляют автоматически. Последнее время стали применять и более узкую магнитную ленту шириной 3,81 *мм*, также с четырьмя дорожками записи.

Проволочный носитель или тонкую магнитную ленту трудно заправлять в тракт миниатюрного магнитофона. При заправке возможны обрывы и неплотный контакт носителя с головкой. Поэтому во многих конструкциях используют носитель записи в специальных кассетах. Кассеты обеспечивают простую заправку носителя в магнитофон, надежную работу магнитофона во всех режимах и удобное хранение получаемых фонограмм. Кассеты для проволоки довольно сложны. Обычно они содержат, помимо катушек с проволокой, систему тормозов, специальный раскладчик проволоки на катушках и даже универсальную магнитную головку.

Кассеты для магнитной ленты не содержат магнитных головок. Существуют конструкции кассет с бесконечной петлей ленты. В них отсутствуют катушки, а запись можно вести непрерывно, по спирали, переходя с дорожки на дорожку. Эти конструкции механически просты и удобны, но при них затруднен поиск записи, так как отсутствует перемотка ленты.

Работа над конструкциями миниатюрных магнитофонов очень увлекательна и открывает перед радиолюбителями широкое поле для творческого поиска.

Корольков Вадим Георгиевич, Лишин Лаврентий Григорьевич

Электрические схемы магнитофонов

Редактор *А. И. Пропошин*
Художественный редактор *Д. И. Чернышев*
Технический редактор *Т. Г. Усачева*
Корректор *И. А. Володяева*

Сдано в набор 20/III 1967 г. Подписано к печати 28/VI 1967 г. Т-07013.
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2 Усл. печ. л. 6,3
Уч.-изд. л. 8,85 Тираж 100 000 экз. Цена 36 коп. Заказ 600

Издательство «Энергия». Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б

Мне всегда нравились старые, сильно потрёпанные книжки. Потрёпанность книги говорит о её высокой востребованности, а старость о вечно ценном содержании. Всё сказанное в большей степени касается именно технической литературы. Только техническая литература содержит в себе ту великую и полезную информацию, которая не подвластна ни политическим веяниям, ни моде, ни настроениям! Только техническая литература требует от своего автора по истине великих усилий и знаний. Порой требуется опыт целой жизни, чтобы написать небольшую и внешне невзрачную книгу.

К сожалению ни что не вечно в этом мире, книги треплются, разваливаются на отдельные листы, которые затем рвутся в клочья и уходят в никуда. Плюс ко всему орды варваров, которым без разницы, что бросить в костёр или чем вытереть свой зад. Именно их мы можем благодарить за сожженные и растоптанные библиотеки.

Если у Вас есть старая книга или журнал, то не дайте им умереть, отсканируйте их и пришлите мне. Совместными усилиями мы можем создать по истине уникальное и ценное собрание старых технических книг и журналов.

Сайт старой технической литературы:

http://retrolib.narod.ru